

ESTUDIO DE LA DISPONIBILIDAD DEL AZUFRE EN EL SUELO Y SU  
CONTENIDO FOLIAR EN EL CULTIVO DE PALMA DE ACEITE  
(*Elaeis guineensis* Jacq.) EN LAS REGIONES DE TUCURINCA Y SEVILLA,  
ZONA BANANERA DEL MAGDALENA

GANI RENE RAUDALES SIERRA

FRANK ALEXIS JIMÉNEZ BLANCO

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

SANTA MARTA D.T.C.H.

2001

ESTUDIO DE LA DISPONIBILIDAD DEL AZUFRE EN EL SUELO Y SU  
CONTENIDO FOLIAR EN EL CULTIVO DE PALMA DE ACEITE  
(*Elaeis guineensis* Jacq.) EN LAS REGIONES DE TUCURINCA Y SEVILLA,  
ZONA BANANERA DEL MAGDALENA

GIANI RENE RAUDALES SIERRA

FRANK ALEXIS JIMÉNEZ BLANCO

Memoria de grado para optar al título de Ingeniero Agrónomo

Director  
CÉSAR ELÍAS BAQUERO MESTRE  
I. A., Especialista en suelos

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

SANTA MARTA D.T.C.H.

2001

Los jurados examinadores de este trabajo de memoria de grado no serán responsables de los conceptos e ideas emitidas por los aspirantes al título.

IA  
00522

Nota de aceptación

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
ELIECER CANCHANO NIEBLES I. A.  
Jurado

\_\_\_\_\_  
JORGE ARAGON TINOCO I. A.  
Jurado

Santa Marta, Marzo del 2001



## DEDICATORIA

DEDICO A:

Mis padres MARTA BLANCO y TOMAS JIMÉNEZ: quienes día a día me apoyaron y estimularon para que mi sueño de ser profesional se hiciera realidad.

Mis hermanos JOHAN, PAOLA y KARINA: con quienes compartí toda mi carrera.

Mis primos HUGO MARIO, ALBEIRO, ARNULFO, ERIKA, ROSITA, ISABEL, CARMEN y Jairo: con quienes compartí diferentes momentos durante mi carrera y en especial a ASMETH GARCÍA quien siempre estuvo atento a que cumpliera con mis objetivos y metas.

Mis tíos JUDITH, IBETH, ARNULFO, FREDDY, MARIO, WILFRIDO, "PAPI": quienes siempre que me veían me preguntaban como iba en mis estudios.

Mis sobrinos TOMAS ALEXIS y KLEIVER JOHAN: con quienes me divertí cuando estudiaba.

Mis compañeros de estudio, JUAN CARLOS, CESAR, CARLOS, ARGEMIRO, FERNANDO, LILIANA, MARGARITA, que en cada momento siempre estuvimos juntos.

Mis amigos JUAN CARLOS, JAIRO, EDWIN, TOMAS.

FRANK

## DEDICATORIA

DEDICO A:

Mi padre PABLO RAUDALES: quien con su ejemplo y particular demostración de afecto me apoyó desde un principio a elegir el camino del éxito y empeño en todas las cosas que hago y sobre todo en mis estudios.

Mi madre ELIS LEONOR SIERRA: quien con sus esfuerzos y sacrificios me enseñó el valor de la vida y todas aquellas cosas que hay que hacer para tener sentido de pertenencia y para ir siempre por el buen camino.

Mis hermanos CRISTIAN y KATIA: a quienes con orgullo entrego el fruto de mi dedicación y esmero.

Mis abuelos MARCISO, ROSA, CLAUDINO Y CARMEN: quienes con sus consejos y esfuerzos contribuyeron a culminar la meta propuesta.

Mis tíos MARÍA, ALVARO, ILMER, MARCISO, EDILTRUDI, ARACELIS, ALVEIRO, YOLIMA: a quienes con gran satisfacción les dedico hoy el resultado de mi anhelado triunfo.

Mis primos FABIAN y TATIANA.

Mis amigos JUAN CARLOS, CARLOS, ELIAS, ERNESTO, LUIS, ALBERTO JOSE, JOSE TOBIAS, LILIANA, J. EMIRO, CESAR, FERNANDO, YENERIS, EDUARDO.

Mis compañeros.

GIANI

## AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente trabajo de investigación expresan sus más sinceros agradecimientos a las siguientes personas y entidades por la colaboración prestada para la realización de dicho trabajo:

Cesar Baquero Mestre I. A. Especialista en suelos. Director de memoria de grado.

Eliecer Canchano Niebles I.A. Jurado del presente trabajo.

Jorge Aragón Tinoco I. A. Jurado del presente trabajo.

Jorge Gadban Reyes I. A.

Ricardo Guerrero Riascos I. A. M.Sc. Suelos.

Fernando Munevar I.A. M.Sc. Microbiología de suelos.

Dumar Motta I.A. M.Sc. Suelos.

Jesús Avendaño I. A. Estadístico.

Alfonso Mier I.A. Estadístico.

Al cuerpo docente de la Universidad del Magdalena de la Facultad de Ingeniería Agronómica por el aporte a la formación profesional y académica.

Universidad del Magdalena.

MONÓMEROS COLOMBO-VENEZOLANO S.A.

CENIPALMA.

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA.

A todas aquellas personas y entidades que de una u otra forma contribuyeron al feliz término de esta investigación.



## CONTENIDO

	pag.
1. INTRODUCCION	1
2. ANTECEDENTES	4
2.1 ORIGEN DEL AZUFRE	4
2.2 AZUFRE DEL SUELO	5
2.3 FORMAS DE AZUFRE EN EL SUELO	6
2.3.1 Azufre orgánico	6
2.3.2 Azufre inorgánico	7
2.4 ABSORCIÓN DEL SULFATO POR LOS SUELOS	9
2.5 TRANSFORMACIÓN MICROBIAL	10
2.6 AZUFRE EN SUELOS DE LA ZONA CÁLIDA	11
2.7 EL AZUFRE EN LAS PLANTAS	13
2.8 DETERMINACIÓN DE DEFICIENCIA DE AZUFRE EN LOS SUELOS	15
2.9 FUNCIONES DEL AZUFRE	17
2.10 INVESTIGACIONES SOBRE AZUFRE EN COLOMBIA	18
3. MATERIALES Y MÉTODOS	23
3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA	23
3.1.1 Ubicación geográfica	23
3.1.2 Aspectos climáticos	23



3.1.3 Suelos	24
3.2 DESARROLLO DEL ENSAYO	24
3.2.1 Diseño experimental	24
3.3 MATERIAL VEGETAL UTILIZADO	25
3.4 DESARROLLO DEL ENSAYO	25
3.4.1 Recolección de muestras de suelo	25
3.4.2 Manejo de las muestras de suelo	26
3.4.3 Recolección de muestras foliares	26
3.4.4 Manejo de las muestras foliares	27
3.4.5 Métodos de análisis	28
3.4.5.1 Azufre	28
3.4.5.2 pH	28
3.4.5.3 Materia orgánica	28
3.4.5.4 Fósforo	28
3.4.5.5 Bases totales (Ca, Mg, K, Na)	28
3.4.5.6 Concentraciones de macroelementos en el tejido foliar	28
3.5 PARÁMETROS ESTUDIADOS	29
3.6 MÉTODOS ESTADÍSTICOS	30
4. RESULTADOS Y DISCUSION	31
5. CONCLUSIONES	71
BIBLIOGRAFÍA	73
ANEXOS	76

## LISTA DE TABLAS

	pag.
Tabla 1. Promedios obtenidos para el contenido de azufre disponible en el suelo, para cada uno de los tratamientos, en un cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	32
Tabla 2. Promedios obtenidos para el contenido de azufre en el tejido foliar, para cada uno de los tratamientos, en un cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	35
Tabla 3. Promedios obtenidos para el contenido de calcio, magnesio y potasio disponible en el suelo en las calles, platos y paleras, para cada uno de los tratamientos, en un cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	45
Tabla 4. Relación para el contenido de calcio, magnesio y potasio disponible en el suelo en las calles, platos y paleras, para cada uno de los tratamientos, en un cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	53
Tabla 5. pH del suelo en las calles, platos y paleras, para cada uno de los tratamientos, en un cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	62
Tabla 6. Promedios obtenidos para el contenido de azufre disponible en el suelo en los platos, para cada uno de los tratamientos, en el cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	64
Tabla 7. Promedios obtenidos para el contenido de calcio, magnesio y potasio disponible en el suelo en las calles, platos y paleras, para cada uno de los tratamientos, en el cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	65

Tabla 8. Relación para el contenido de calcio, magnesio y potasio disponible en el suelo en las calles, platos y paleras, para cada uno de los tratamientos, en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena. 66

Tabla 9. pH del suelo en las calles, platos y paleras, para cada uno de los tratamientos, en un cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena. 68

Tabla 10. Contenido de materia organica del suelo en las calles, platos y paleras, para cada uno de los tratamientos, en un cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena. 69

Tabla 11. Contenido de fósforo del suelo en las calles, platos y paleras, para cada uno de los tratamientos, en un cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena. 70



## LISTA DE GRÁFICAS

	pag.
Grafica 1. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo Vs. contenido de azufre en el tejido foliar, en el cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tucurínca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	34
Grafica 2. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en calles Vs. pH en calles, en el cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tucurínca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	36
Grafica 3. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en calles Vs. pH en paleras, en el cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tucurínca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	37
Grafica 4. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en calles Vs. materia orgánica en platos, en el cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tucurínca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	39
Grafica 5. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en calles Vs. materia orgánica en calles, en el cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tucurínca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	40
Grafica 6. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en calles Vs. materia orgánica en paleras, en el cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tucurínca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	41
Grafica 7. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en calles Vs. fósforo en platos, en el cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tucurínca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	42



Grafica 8. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en calles Vs. fósforo en calles, en el cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	43
Grafica 9. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en calles Vs. fósforo en paleras, en el cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	44
Grafica 10. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en platos Vs. pH en platos, en el cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	47
Grafica 11. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en platos Vs. pH en calles, en el cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	48
Grafica 12. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en platos Vs. pH en paleras, en el cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	49
Grafica 13. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en platos Vs. materia organica en paleras, en el cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	50
Grafica 14. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en platos Vs. fósforo en calles, en el cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	51
Grafica 15. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en platos Vs. fósforo en paleras, en el cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	52
Grafica 16. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en paleras Vs. pH en paleras, en el cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	55

Grafica 17. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en paleras Vs. materia orgánica en platos, en el cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tucurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	56
Grafica 18. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en paleras Vs. materia orgánica en platos, en el cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tucurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	57
Grafica 19. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en paleras Vs. materia orgánica en palera, en el cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tucurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	58
Grafica 20. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en paleras Vs. fósforo en platos, en el cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tucurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	59
Grafica 21. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en paleras Vs. fósforo en calles, en el cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tucurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	60
Grafica 22. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en paleras Vs. fósforo en palera, en el cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tucurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	61



## LISTA DE ANEXOS

	pag.
Anexo A. Análisis de varianza de los promedios obtenidos para el contenido de azufre disponible en el suelo, para cada uno de los tratamientos, en un cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tucurínca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	77
Anexo B. Análisis de varianza de los promedios obtenidos para el contenido de azufre disponible en el suelo en las calles, para cada uno de los tratamientos, en un cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tucurínca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	78
Anexo C. Análisis de varianza de los promedios obtenidos para el contenido de azufre disponible en el suelo en los platos, para cada uno de los tratamientos, en el cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tucurínca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	79
Anexo D. Prueba de Tukey de los promedios obtenidos para el contenido de azufre en el suelo en los platos, para cada uno de los tratamientos, en el cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tucurínca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	80
Anexo E. Análisis de varianza de los promedios obtenidos para el contenido de azufre disponible en el suelo en las paleras, para cada uno de los tratamientos, en el cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tucurínca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	81
Anexo F. Análisis de varianza de los promedios obtenidos para el contenido de azufre en el tejido foliar, para cada uno de los tratamientos, en el cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tucurínca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	82
Anexo G. Prueba de Tukey de los promedios obtenidos para el contenido de azufre en el tejido foliar, para cada uno de los tratamientos, en el cultivo de palma de aceite ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en las regiones de Tucurínca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.	83

## RESUMEN

Con la presente investigación se realizó un estudio para evaluar la disponibilidad del azufre en el suelo y su contenido foliar en la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). Este estudio se llevó a cabo en 7 plantaciones ubicadas en la Zona Bananera del Magdalena entre Sevilla y Tucurín. Las edades de las palmas oscilaban entre los 10 y 14 años. Se escogió el híbrido Ténera Costa Rica por ser el más cultivado en la zona.

Esta investigación tuvo como objetivo principal determinar el azufre disponible en el suelo y su contenido foliar en la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.).

Se empleó un diseño experimental completamente al azar, con tres unidades experimentales para cada finca para un total de 21 replicaciones. Cada unidad experimental estaba conformada por 25 palmas y en cada palma se tomaron muestras de suelo en el sitio del plato, la calle y la palera, por consiguiente en cada unidad experimental se obtenían 3 muestras de suelo para un total de 9 muestras por plantación. A las mismas palmas se les tomaron muestras foliares en la hoja 17.

Los parámetros evaluados fueron: el contenido de azufre en el suelo (plato, calle, palera) a profundidad de 0-25cm y el contenido de azufre del tejido foliar en la hoja 17 de palmas adultas (10-14 años).

Según los resultados obtenidos el contenido de azufre en los suelos de las 7 plantaciones, es moderado (13,55ppm) presentándose en algunas plantaciones niveles altos de azufre sobre todo en la zona del plato donde hay aplicación de fertilizantes con base en azufre.

El contenido de azufre a nivel foliar fue muy bajo para las 7 plantaciones (0,16%), lo que nos indica que el contenido de azufre que se encuentra en el suelo no se manifiesta en el tejido foliar, ya sea por la interacción de los demás compuestos o por desequilibrio que presentan los mismos.

Se considera necesario implementar un programa de fertilización para

el elemento azufre en todas las plantaciones de palma de aceite estudiadas, mejorar la fertilización de manera tal, que se encuentre un equilibrio de los nutrientes existentes en el suelo para no ocasionar antagonismos y permitir la absorción de estos por parte de la palma y así incrementar los rendimientos de rendimiento y productividad de los cultivos.



## INTRODUCCIÓN

En Colombia, los estudios de disponibilidad de los nutrientes en el suelo y su concentración en el tejido foliar, debe ser una práctica establecida como norma general para cada cultivo mediante un lapso de tiempo determinado, ya que mediante esta práctica se determina si un cultivo se encuentra deficiente de un nutriente o si se encuentra en el suelo y no es asimilado por la planta.

Además, teniendo a la mano un estudio de disponibilidad de nutrientes en los suelos, se hace uso de un buen manejo de la fertilización en las plantaciones lográndose así obtener los máximos rendimientos en la producción y calidad de las cosechas.

La realización de estas prácticas, se debe fundamentalmente a que los suelos de la región son por lo general deficiente en uno o más elementos o nutrientes esenciales para el desarrollo y producción normal de las plantas.

La deficiencia de azufre disponible para las plantas afecta el rendimiento de los cultivos y la calidad de las cosechas debido a que la

síntesis de proteínas se ve interrumpida. Por tal razón, el presente trabajo incluye aspectos relacionados con el análisis de suelo y foliar en un cultivo de mucha importancia en la economía agrícola nacional como lo es la palma de aceite. Estos análisis nos permiten establecer las bases mínimas necesarias para hacer recomendaciones sobre una buena y eficiente fertilización.

Este trabajo es de gran importancia ya que, hasta el momento, las investigaciones sobre niveles críticos de azufre en el suelo y concentraciones del elemento en el tejido foliar de la palma de aceite en Colombia son muy escasas; por lo cual debe recurrirse a niveles críticos obtenidos para otros cultivos y a la investigación realizada en otros países en el orden de concentraciones del elemento azufre a nivel foliar.

Debido a que el tema a tratar es considerado como fundamento de la fertilidad de los suelos, el análisis químico de suelos se ha utilizado comúnmente para conocer los niveles de los elementos y tomar decisiones sobre la aplicación de fertilizantes. Estos análisis buscan obtener un valor de concentraciones de azufre en el suelo, bajo el cual la respuesta a la fertilización se observe ampliamente. Además, es conocido que el análisis de los tejidos vegetales tiene como base la premisa de que la cantidad de un elemento en la planta está

directamente relacionada con la cantidad de ese nutriente en los suelos.

Confiamos que el presente trabajo servirá como una guía muy útil a los profesionales y productores del país, principalmente los productores de palma aceitera en el departamento del Magdalena.



## 2. ANTECEDENTES

El azufre es uno de los muchos elementos necesarios para el desarrollo de las plantas. Tiene la misma importancia que el nitrógeno y el fósforo en la formación de las proteínas. (19).

Además de ser un elemento nutritivo esencial para las plantas, el azufre y sus componentes tienen otros importantes usos agrícolas. Se emplean ampliamente en la recuperación de suelos salinos y alcalinos. A menudo aumentan la disponibilidad de fósforo y de ciertos micronutrientes en los suelos alcalinos. (19).

La mayoría de los combustibles contienen azufre. El carbón y ciertos combustibles derivados del petróleo tienen un contenido de azufre especialmente alto. Al quemarse estos combustibles, anhídrido sulfuroso es expulsado a la atmósfera que puede ser incorporado al suelo por medio de las lluvias o absorbido directamente por suelo y planta. (20).

### 2.1 ORIGEN DEL AZUFRE

El azufre se encuentra en su forma elemental en depósitos de origen

volcánico o integrando distintos minerales, esencialmente las piritas (40 - 80% S). (19).

El azufre también se encuentra en la atmósfera como dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), ácido sulfúrico, sulfato, ácido sulfhídrico y metil mercaptano. Cerca del 70% del  $\text{SO}_2$  se origina de la combustión del carbón, del petróleo y el gas, otro 16% de los humos que emiten los motores de combustión y el 14% restante de las fundiciones metalúrgicas y refinerías de petróleo. (19).

El azufre se encuentra contenido en la mayoría de los combustibles, que al quemarse, expulsan anhídrido sulfuroso a la atmósfera y es incorporado al suelo por medio de las lluvias o absorbido directamente por el suelo y plantas. (19).

## 2.2 AZUFRE DEL SUELO

En los suelos de regiones húmedas la mayor parte del azufre se encuentra asociado con la materia orgánica del suelo, los sulfatos solubles raramente se acumulan en El suelo puesto que se pierde por lixiviación. En cambio los sulfatos salinos solubles, especialmente el yeso, a menudo se acumulan en los suelos de regiones áridas. Cuando esta acumulación ocurre, rara vez el azufre constituya un factor restrictivo en la alimentación de las plantas. (19).

Suelos arenosos con alta lixiviación y bajo contenido de materia orgánica tienen muy poco azufre y es precisamente en ellos donde los cultivos padecen con mayor frecuencia deficiencia de este elemento. En regiones muy lluviosas el azufre se acumula a menudo en el subsuelo donde el ión sulfato es absorbido por los óxidos de hierro y aluminio. Este fenómeno aumenta la acidez del suelo. (19).

### 2.3 FORMAS DE AZUFRE EN EL SUELO

El azufre se encuentra en el suelo en forma orgánica y en forma inorgánica.

#### 2.3.1 Azufre orgánico.

Excepto en los suelos yesíferos, un gran porcentaje del azufre total del suelo se haya en la materia orgánica del terreno. A medida que la materia es descompuesta por los microorganismos del suelo, son liberados sulfatos junto con compuestos solubles de nitrógeno y fósforo. (19).

El azufre orgánico no es directamente disponible, primero debe ser mineralizado. (12).

En el suelo se distinguen 2 fracciones de azufre orgánico:

El azufre ligado directamente al carbono y el azufre reducible con el ácido rodhídrico que está constituido en gran parte por los aminoácidos cisteína, metionina, y posiblemente por otros compuestos como sulfatos y ácido sulfónico. (19).

La segunda fracción está integrada por los sulfatos orgánicos que presentan el enlace C-O-S (sulfatoesteres) o C-N-S tales como sulfato fenólico, sulfato ésteres de carbohidratos, lípidos y sulfato de colina. (18).

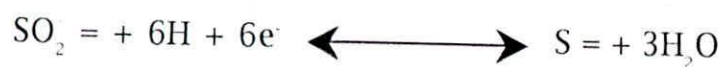
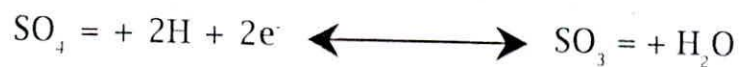
### 2.3.2 Azufre inorgánico.

La principal forma del azufre en los suelos es la de sulfato soluble que se encuentra en la solución del suelo o en la forma iónica  $\text{SO}_4$ , absorbido fundamentalmente en el subsuelo de suelos ácidos o en la forma de precipitados de Ca, Mg, K. El  $\text{CaSO}_4$  se acumula en regiones semiáridas. En caso de anaerobismo, como en suelos anegados y pantanosos, se presentan sulfuros como la pirita ( $\text{FeS}_2$ ). Por lo general, al establecer las condiciones aeróbicas, los sulfuros se transforman rápidamente en sulfatos. En suelos bien aireados, hasta el 1% del azufre inorgánico se presenta como sulfuro. (9).

El ión sulfato predomina en condiciones de buen drenaje combinado con cationes Ca, Mg, K, Na, en la solución del suelo. (9).



El predominio de las formas sulfatos y sulfuros, depende del potencial de oxido-reducción según se aprecia en las siguientes ecuaciones (7):



En el suelo, el azufre pasa por una serie de transformaciones de naturaleza química y biológica que aseguran de una parte la provisión del elemento a las plantas de la forma más asimilable, y por otra, reducen las pérdidas por lixiviación y arrastre por las lluvias. Estas transformaciones incluyen procesos de oxidación, reducción, síntesis y descomposición de las proteínas que contienen azufre. (27).

La cantidad de azufre total en los suelos colombianos no pasa por lo general de 1500p.p.m. el azufre orgánico representa de 90 a 95% del azufre total y la fracción inorgánica corresponde a la forma de sulfatos absorbidos y alrededor de 1 a 2% de azufre total son formas inorgánicas en estado de oxidación menos que sulfatos. En la materia orgánica del suelo hay, según parece, una tendencia hacia una constante y mutua dependencia entre las cantidades de carbono, nitrógeno, fósforo y azufre. El cultivo del suelo aumenta el ritmo de descomposición de la materia orgánica y, por consiguiente, la disponibilidad del azufre que está bajo forma orgánica.

Recíprocamente los sulfatos inorgánicos del suelo se convierten en materia orgánica, y hay así una tendencia a un equilibrio entre el azufre orgánico e inorgánico. La dirección de esta reacción está determinada por las cantidades disponibles de carbono, nitrógeno, fósforo y azufre, así como por el clima y las prácticas de cultivo que se emplean. (4).

#### 2.4 ABSORCIÓN DEL SULFATO POR LOS SUELOS.

La capacidad del suelo para adsorber sulfatos es afectada por ciertos tratamientos al suelo, aumentando de superfosfato aplicado a un suelo F.Ar.A. resulta en una disminución de sulfato soluble. (8).

Las investigaciones realizadas con absorción de sulfatos, pueden resumirse como sigue (16):

- I. La mayoría de los suelos tienen alguna capacidad de retener sulfatos y la mayor cantidad de éste ión en el horizonte superficial, generalmente es menor que el subsuelo.
- II. Las arcillas caoliníticas retienen más sulfato, que el grupo de las montmorillonitas.
- III. Los óxidos de aluminio y hierro muestran una marcada tendencia a retener sulfato.

IV. Hay una fuerte dependencia entre la retención de sulfato y el equilibrio del pH, la retención aumenta cuando disminuye el pH.

V. El sulfato adsorbido está en equilibrio cinético con el sulfato en solución.

VI. Hay una marcada diferencia en la retención de varios aniones con la retención de sulfato. En suelos ácidos la retención de sulfatos tiene que ver específicamente con la química del hierro y del aluminio.

## 2.5 TRANSFORMACIÓN MICROBIAL

Los microorganismos son capaces de metabolizar el azufre elemental y sus distintos compuestos tanto orgánicos como inorgánicos. Los distintos procesos bioquímicos pueden agruparse en (1):

- a-. Mineralización de compuestos azufrados.
- b-. Inmovilización de los compuestos simples.
- c-. Oxidación de compuestos inorgánicos.
- d-. Reducción de sulfatos a sulfuros.

Las bacterias que oxidan compuestos inorgánicos de azufre son generalmente quimioautótrofos obligados o facultativos, cuyo género más importante es *Thiobacillus*, con la especie *T. thiooxidans*, la cual

oxida el azufre elemental; *T. novellus* no puede usar azufre elemental pero si oxida compuestos inorgánicos, lo mismo que sales inorgánicas de azufre. *T. thioparus* y *T. denitrificans*. Estas bacterias tienen una amplia gama de adaptación y aparentemente se adaptan a varios pH que se encuentran en el suelo. Las bacterias que intervienen directamente con la reducción del sulfato son del genero *Desulfovibrio*.

Los cambios bioquímicos de óxido-reducción se observan en la siguiente reacción (23):

- i. Reacción de oxidación por *T. thiooxidans*.



- ii. Reacción de reducción por bacterias del género *Desulfovibrio*.



## 2.6 AZUFRE EN SUELOS DE LA ZONA CÁLIDA

El azufre del suelo de la zona proviene, en su gran mayoría, del azufre orgánico y en menor proporción de la fracción mineral y es tomado en forma de sulfato por las raíces. (13).

Puesto que el suministro de azufre del suelo está entre otros factores



relacionados con el contenido de materia orgánica, el suministro de este elemento en los suelos de zonas cálidas varía frecuentemente y en gran parte está influenciado por la lluvia, la temperatura, la evapotranspiración y la vegetación. (20).

Estudiando muestras provenientes de los siete departamentos de la Costa Atlántica y de diez cultivos regionales se concluyó, que en términos generales hay predominancia de contenidos altos de azufre disponible con un rango de 1.10 a 786p.p.m. y un promedio de 36p.p.m., salvo en muestras de Bolívar y Sucre donde predominan valores bajos (menores de 5p.p.m.). (12).

Las principales causas de las deficiencias de azufre en los suelos tropicales se pueden agrupar en tres categorías: bajo contenido de azufre en el suelo, baja disponibilidad del azufre contenido en la materia orgánica y deficiencias generadas por prácticas agrícolas. Este bajo contenido se debe a que el material parental es pobre en dicho elemento, además la acción del intemperismo y las pérdidas por lixiviación contribuyen notablemente a agudizar el problema. (19).

El aumento de pH trae como consecuencia una menor absorción de los sulfatos y por ello se aumenta la pérdida por lixiviación o lavado en los suelos. (6).

## 2.7 EL AZUFRE EN LAS PLANTAS

Las plantas adsorben el azufre como ión sulfato tomado de la solución del suelo para ser incorporado a los compuesto de los cuales forma parte, como son los aminoácidos cistina, cisteina y metionina. El azufre debe ser reducido a nivel de sulfuro ( $S^{2-}$ ). Parte del ión sulfato puede ser reducido en la raíz, pero la mayor parte es transportado a las hojas donde es reducido en los cloroplastos. (19).

El azufre también sirve como regulador para acelerar el desarrollo de las raíces, la absorción de sulfato en las raíces exige la activación de 24 átomos de oxígeno. (3).

El azufre es importante en la formación de la clorofila, aunque no llega a ser parte del pigmento y que las plantas que crecen deficientes en azufre, tienen un color verde claro, el cual puede corregirse aplicando azufre. Este elemento en forma de sal, aporta y retiene hierro y manganeso en solución. (2).

Las plantas pueden absorber directamente el azufre del suelo principalmente en forma de sulfato, o pueden absorber  $SO_2$  del aire. El contenido de  $CO_2$  del aire es del orden de 315p.p.m., y el  $SO_2$  es tan solo de 0,05p.p.m., existiendo una relación de 2400 a 1, mientras que en la

alfalfa es de 150 a 1. Con base en esta relación, se afirma que la alfalfa absorbe el 6% del azufre necesario a partir del aire. El azufre parece tener intervención en la reducción de nitratos. (24).

La absorción del azufre por la palma de aceite es el doble que la del fósforo, por ser el azufre parte de las proteínas y ser esencial en la formación de grasas, el uso de fertilizantes de alto grado que no contiene azufre, puede permitir la manifestación de deficiencia de este nutriente, sobre todo en suelos ácidos. Además es requerido por las coberturas. (21).

Los requerimientos de azufre varían entre especies de cultivos y entre variedades de una especie. La absorción de azufre por los cereales, la papa y el algodón es de 10 - 20Kg S/Ha, las leguminosas requieren de 20 - 30Kg S/Ha y las crucíferas de 40 - 50KG S/Ha. (19).

En Brasil se registró un aumento en la producción de materia seca de varias leguminosas forrajeras tropicales con la aplicación hasta de 60Kg S/Ha en un suelo con deficiencia de este elemento. (13).

En términos generales, el azufre es removido del suelo por los diferentes cultivos en cantidades similares al fósforo. Entre los cultivos exigentes en azufre están la avena, el maíz, el tomate, la alfalfa



y el sorgo, los cuales extraen entre 20 y 40Kg S/Ha. (13).

## 2.8 DETERMINACIÓN DE DEFICIENCIA DE AZUFRE EN LOS SUELOS

Los análisis de suelo y tejido vegetal, son utilizados para el diagnostico de deficiencias de azufre y posiblemente son complementarios, sin embargo los análisis de plantas no revelan deficiencias de ellos. También es tardío para una aplicación correctiva que influye en el rendimiento si se hace una prueba satisfactoria de suelos se conoce con anticipación los requerimientos de fertilizante para una cosecha normal. (4).

El análisis químico de los suelos es muy útil para escoger suelos fértiles para el establecimiento de cultivos; para determinar las necesidades nutricionales a largo plazo y ayuda a interpretar y diagnosticar los requerimientos de los fertilizantes como en los cultivos anuales ya que por ser la palma de aceite un cultivo perenne, este puede absorber nutrimentos no disponibles en el momento del análisis por absorción posterior de las arcillas y la materia orgánica. (21).

La cantidad de azufre que se encuentra en el tejido foliar esta relacionado con la cantidad presente en el suelo. (19).

El análisis foliar, como técnica de diagnostico de las necesidades

nutricionales de las plantas, se basa en que las plantas requieren de una concentración determinada de nutrientes para mantener su normal desarrollo y producción. El contenido de azufre total es el parámetro generalmente usado para diagnosticar la deficiencia de azufre. (19).

El análisis foliar determina la composición química de las hojas, además sirve para reconocer anticipadamente cualquier deficiencia y abundancia de los elementos. La composición optima es aquella en que la palma está en máximo desarrollo y/o producción para determinadas regiones. El análisis foliar detecta deficiencias nutricionales en su fase inicial, por lo tanto, es indispensable la estandarización la estandarización del método de forma de muestra y el análisis químico en sí. (21).

En Colombia el nivel crítico para el azufre es inferior a 5p.p.m. Generalmente por medio del método de fosfato monocálcico (0,008M) encontramos en algunos cultivos valores entre 5 - 15p.p.m., como en la caña de azúcar, frijol, plátanos y pastos. (17).

Se ha reportado como bajo un contenido de azufre en la hoja 17 cuando esta presenta valores de 0,20 - 0,23% de la materia seca. (14).

La palma es deficiente cuando el contenido de azufre en la hoja 17 es

menor de 0,20%, optimo cuando presenta entre 0,20 - 0,35% y es excesivo cuando supera 0,60%. (15).

Para la producción de 15 a 30t/Ha/año, la palma de aceite requiere de 12, 80, 120, 204 y 181g/palma/año de azufre en los periodos de 0 - 1, 1 - 2, 2 - 3, 3 - 5, 5 - 7 y 7 - 15 años respectivamente. (19).

## 2.9 FUNCIONES DEL AZUFRE

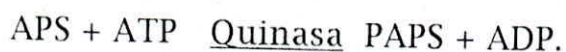
El azufre es el cuarto elemento esencial en el desarrollo vegetal, es requerido para el crecimiento de las plantas en cantidades similares al fósforo y magnesio, algunos cultivos tropicales tales como el café, caña de azúcar, algodón, palma, etc. requieren más azufre que el fósforo. (19).

El azufre es un elemento esencial para el desarrollo de las plantas: participa en múltiples procesos siendo uno de los más importantes la síntesis de aminoácidos (cistina, cisteina, y metionina), la elaboración de proteínas y catálisis de ciertas reacciones celulares, es constituyente de algunas vitaminas como la tiamina y biotina, de las coenzimas A y de la glutaniona, está presente en los aceites de las plantas de las familias crucífera y liliácea, incrementa el contenido de aceite en los cultivos como soya y el lino, uniones de disulfuros (-s-s-) se han asociado con la estructura del protoplasma y la cantidad

de grupos sulfhídricos en las plantas se han relacionado con un incremento en la resistencia a las heladas, además es componente de algunos compuestos orgánicos responsables del olor y sabor de algunas hortalizas. (19).

El  $S^{=4}$  luego de ser absorbido es reducido, pasado por un estado activado en el cual intervienen el 3-fosfoadenosina-S-fosfosulfato (PAPS) y el AIP. El PAPS es sintetizado en dos partes; inicialmente ocurre una activación del  $SO^{=4}$  mediante ATP y la enzima sulfurilaza para formar adenosin -S- fosfosulfato (ATS). Posteriormente el APS se convierte en PAPS mediante una acción de una quinosa específica. (3).

El esquema de la reacción es el siguiente (19):



Esta forma reducida termina formando parte de los aminoácidos cistina y metionina.

## 2.10 INVESTIGACIONES SOBRE AZUFRE EN COLOMBIA

Los niveles críticos de azufre que se manejan en Colombia son los



referenciados por Monómeros Colombo-Venezolanos, que son generales para todos los cultivos:

Muy bajo → <5ppm

Bajo → 5-10ppm

Moderado → 10-15ppm

Alto → >15ppm

Al realizar estudios del azufre en la Costa Atlántica de Colombia se encontró que el azufre disponible oscila entre 1.10 a 786.3ppm con un promedio de 36ppm, pero hace resaltar que los suelos de Bolívar y Sucre predominaron valores de azufre bajos (menores de 5ppm). (12).

Se trabajó con suelos de la Sabana de Bogotá y los Llanos Orientales en condiciones de invernadero y se encontraron respuestas positivas a las aplicaciones de azufre en la producción de materia seca y en la elaboración de nutrimentos por las plantas en los suelos de los Llanos Orientales. En estos suelos la aplicación de 60kg/Ha incrementó la producción de materia seca y la absorción de azufre por las plantas. (14).

Se encontró que la aplicación de azufre a suelos de la serie Bacatá (distrandept típica) causó aumento notable en la tasa de



mineralización del Nitrógeno y Carbono Orgánico, lo cual se refleja en un mayor rendimiento de materia seca. (28).

En experimentos hechos en invernadero con algunos suelos del sur del Huila se encontró respuestas del maíz a la fertilización del azufre en el rendimiento de materia seca y en la absorción de dicho nutriente por la planta. El nivel crítico establecido fue de 4.1ppm de azufre extraído con cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ). Recomienda aplicar entre 40 - 80Kg/Ha. (11).

En algunos experimentos realizados sobre la fertilización del café con azufre no se han obtenido respuesta, esto indica buena disponibilidad de azufre en los suelos estudiados. (26).

En trabajos en invernadero con dos suelos de los Llanos Orientales que contenían 7.3 y 10.2ppm de azufre extraído con cloruro de litio ( $\text{LiCl}$ ) se encontraron efectos altamente significativos en la producción de materia seca del pasto Raygrass y en la absorción de azufre por las plantas, con la aplicación de diferentes dosis del elemento procedente del sulfato de amonio y sulfato de calcio. El nivel crítico propuesto para el método de extracción con  $\text{LiCl}$  fue de 5ppm. (26).

En un estudio de la respuesta del tomate a la fertilización con azufre en suelos del Centro de Investigación Caribia de CORPOICA en Sevilla (Magdalena) usando dosis crecientes de azufre (0, 30, 60, 90, 120Kg/Ha) y tres fuentes del elemento (sulfato de amonio (S.A.M.) Yeso y Azufre elemental), los resultados mostraron que el sulfato de amonio superó ampliamente a los otros fertilizantes, con aplicaciones de 60 y 90Kg/Ha. (25).

La respuesta del cultivo de papaya a la fertilización con azufre fue estudiada en suelos del Centro de investigación Caribia en Sevilla (Magdalena) usando dosis creciente de azufre (0, 30, 60, 90 y 120Kg/Ha) y tres fuentes del elemento (S.A.M, Yeso y Azufre elemental), los resultados mostraron que el sulfato de amonio se comportó mucho mejor que el yeso y el azufre elemental y la dosis que mejor se comportó fue la de 90Kg/Ha con un promedio de 16.232,3Kg/ha. (7).

La variación del azufre activo y su contenido foliar en la palma de aceite fue investigada en suelos del piedemonte llanero colombiano donde se midió la concentración de azufre en los tejidos de la hoja diecisiete de palmas adultas y el contenido del elemento activo en el suelo. Los resultados mostraron que las concentraciones de azufre en los tejidos de la palma adulta fueron menores que los valores

reportados como críticos obtenidos de estudios realizados en otros países, con muy baja relación con el azufre activo del suelo y con otras variables analizadas, incluyendo la materia orgánica de la cual es originario. (26).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA

##### 3.1.1 Ubicación geográfica.

El presente estudio se realizó en los corregimientos de Sevilla y Tucurinca, municipio Zona Bananera, departamento del Magdalena (Colombia), a 65Km del sur de Santa Marta, los cuales se encuentran enmarcado geográficamente dentro de las coordenadas planas: 74°8'30" de longitud oeste al meridiano de Greenwich y 70°11'00" de latitud norte.

##### 3.1.2 Aspectos climáticos.

Las condiciones climáticas que presenta esta zona, corresponde según el sistema de zona de vida de Holdridge a la formación bosque seco tropical (bs-T) Región Natural Caribe, Sub-región Zona Bananera con una altura de 20msnm, con precipitación promedio de 1.370mm, una temperatura anual de 30.4°C y una humedad relativa del 82%, brillo solar de 2000 horas sol año. Es una zona influenciada por fuertes vientos alisios. Los meses de verano intenso o secos van de diciembre a marzo; los meses de mayor lluvia van de abril a junio y de agosto a noviembre.



### 3.1.3 Suelos.

Los suelos del área bajo estudio son de origen aluvial, están dentro de la serie Tucurínca, estos suelos han sido utilizados en cultivos como el banano, frutales y cultivos de periodo corto como el maíz, sorgo, fríjol, hortalizas, etc. Presentan una textura que va de franco a franco-arenoso, son suelos profundos, con buen drenaje y nivel freático profundo, el grado de fertilidad es de bajo a moderado, lo que permite que haya una buena respuesta de los cultivos allí sembrados, a la aplicación de los principales nutrientes que estos necesiten exceptuando el fósforo ya que se encuentra por lo general en concentraciones relativamente altas.

El ciclo de fertilización de las 7 plantaciones es de 2 aplicaciones por año utilizando el 50 al 60% de la dosis de los nutrientes en el primer semestre y el resto en el segundo semestre. Los nutrientes utilizados por lo general corresponden a los resultados de las muestras foliares que se practican anualmente. Estos nutrientes por lo general son: sulfato de amonio (SAM), cloruro de potasio (KCl) y superfosfato triple (SPT).

## 3.2 DESARROLLO DEL ENSAYO

### 3.2.1 Diseño experimental.

Para este ensayo se utilizó el diseño completamente al azar, se tomaron

7 fincas sembradas con palma de aceite (*Elaeis guineensis*, Jacq) con edades entre 10 -14 años de edad, para cada plantación se establecieron 3 unidades de muestreo para un total de 21 replicaciones, cada unidad experimental estaba conformada por 25 palmas y en cada palma se tomaron muestras de suelo en el sitio del plato, la calle y la palera, por consiguiente en cada unidad experimental se obtenían 3 muestras de suelo para un total de 9 muestras por plantación. A las mismas palmas se les tomaron muestras foliares en la hoja 17.

### 3.3 MATERIAL VEGETAL UTILIZADO

El material utilizado para este ensayo fue el híbrido TENERA Costa Rica, que es el material más sembrado en la región. Por su adaptación y muy buenas producciones a aparte de otras características genéticas que hacen que sea muy deseado para su explotación.

### 3.4 DESARROLLO DEL ENSAYO

El trabajo se inició en el mes de noviembre de 1998 y culminó en el mes de septiembre del 2000 periodo en el cual se llevó un registro de cada una de las actividades desarrolladas.

#### 3.4.1 Recolección de muestras de suelo:

Para el ensayo se tomaron las muestras de suelo a una profundidad de

0-25cm, utilizando como herramienta un palín donde se realizaba una abertura en el suelo en forma de "V" de uno de sus lados se obtenía una tajada de suelo más o menos de 3-5cm de espesor, donde se despreciaban las partes laterales y se dejaba una franja de suelo en la parte central del palín de aproximadamente 5-10cm, también se despreciaba una pequeña parte del extremo superior que correspondía a materia orgánica en descomposición, esto para que en el momento de realizarle los estudios correspondientes, no influya en los resultados.

#### 3.4.2 Manejo de las muestras de suelo.

El suelo recolectado por cada unidad se homogeneizó para obtener una muestra respectivamente de suelo del plato, calle y palera, estas se secaron a la sombra, luego se pesaron hasta obtener 1Kg de muestra aproximadamente y por último se enviaron al laboratorio para realizarle su respectivo análisis.

Una vez enviada las muestras al laboratorio, se les efectuó un análisis completo más azufre (textura, pH, M.O., P, K, Ca, Mg, Na, C.I.C., C.E. + S) utilizando la metodología empleada por CENIPALMA.

#### 3.4.3 Recolección de muestras foliares.

Las muestras foliares se tomaron en las mismas palmas donde se tomaron las muestras de suelo, se tomaron muestras de la hoja número

17 debido a que son plantaciones adultas entre 10-14 años, de la mitad de esta hoja se tomaba 4 foliolos de cada lado de la vena central, de estos foliolos se les tomaba el centro de cada uno de ellos obteniendo aproximadamente de 10-15cm de la parte central de los foliolos.

Esta recolección se realizó entre las 6 y las 10:30 a.m. debido a que pasada de esta hora comenzaba el proceso de fotosíntesis lo cual podría influir en los datos de los resultados.

#### 3.4.4 Manejo de las muestras foliares.

Las muestras foliares pasaron por un proceso de lavado con hipoclorito de sodio al 0.1% y luego por agua destilada aproximadamente de 1-2 minutos, luego a cada uno de los foliolos se les quitaba de la nervadura central y de sus extremos esto con el fin de poder dividir las muestras en izquierdas y derechas para enviar una de ellas al laboratorio y la otra se guarda como medida preventiva en caso de que se presente alguna pérdida de material.

Luego de este proceso ambas muestras (derecha, izquierda) se pasan a la estufa durante 48 horas a una temperatura de 75°C, luego se enviaron al laboratorio para su respectivo análisis.

Al tejido foliar se le determinaron los elementos (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe,



Mn, Zn) con la metodología empleada por el laboratorio de CENIPALMA.

#### 3.4.5 Métodos de análisis.

El método de extracción empleado para el análisis de cada uno de los elementos es:

3.4.5.1 Azufre: se utilizó el método de extracción del fosfato monocálcico (0,008M).

3.4.5.2 pH. Se determinó en la pasta saturada en la relación suelo-agua 1:2,5 cuantificado en un potenciómetro de electrodos de vidrio.

3.4.5.3 Materia orgánica. Se determino por el método de colorimetría Walkley-Black.

3.4.5.4 Fósforo. Se utilizó el método de Bray II, se cuantifico por absorción molecular.

3.4.5.5 Bases totales (Ca, Mg, K, Na). Se determinó por medio de espectrofotometría de absorción atómica utilizando como solución extractora acetato de amonio ( $\text{NH}_4$ ).

3.4.5.6 Concentraciones de macroelementos en el tejido foliar. La determinación del nitrógeno total se realizó mediante el método del

fenol básico y cuantificado por absorción molecular. El fósforo se determinó por el método de molibdato de amonio cuantificado por absorción molecular. El potasio, calcio, magnesio y sodio se determinaron por el método de metanol ácido y cuantificado por espectrofotometría de absorción atómica.

### 3.5 PARÁMETROS ESTUDIADOS

En la presente investigación se evaluaron los siguientes parámetros.

3.5.1 El contenido de azufre disponible en el suelo a una profundidad de 0-25cm.

3.5.2 El contenido de azufre disponible en el suelo en las calles a una profundidad de 0-25cm.

3.5.3 El contenido de azufre disponible en el suelo en los platos a una profundidad de 0-25cm.

3.5.4 El contenido de azufre disponible en el suelo en las paleras a una profundidad de 0-25cm.

3.5.5 El contenido de azufre del tejido foliar en la hoja número 17 de la palma de aceite.

### 3.6 MÉTODOS ESTADÍSTICOS

Los métodos estadísticos utilizados para evaluar los parámetros fueron:

- Análisis de varianza.
- Análisis de correlación.
- Prueba de Tukey.



#### 4. RESULTADOS Y DISCUSION

Al analizar los resultados promedios obtenidos en las muestras de suelo (tabla 1), se pudo observar que el nivel de azufre total para la plantación Macaraquilla (31,13p.p.m.) fue superior al obtenido en las demás fincas muestreadas, y se puede calificar como suelo de alto contenido de azufre ( $>15$ p.p.m.), según los niveles críticos sugeridos por Monómeros. También se observó que las demás plantaciones presentan un nivel de azufre moderado (10 - 15p.p.m.), a excepción de la plantación Agrícolas del Norte (5,41p.p.m.), cuyo nivel de azufre es considerado como bajo (5 - 10p.p.m.), esto se debe a que en esta plantación se presentó un lavado de sulfatos a causa de las inundaciones que hubo antes que se tomaran las muestras de suelo, se añade a esto, que en ese año no se realizó ninguna clase de fertilización. En la plantación Macaraquilla, no se presentaron estas condiciones y además se realizó una fertilización con nutriente a base de azufre (sulfato de amonio), en las demás plantaciones se realizó una fertilización con bases en el elemento azufre pero con muchos meses de anterioridad a la toma de muestras de suelo utilizando dosis menores lo que explica el contenido moderado de azufre en el suelo.



Tabla 1. Promedios obtenidos para el contenido de azufre disponible en el suelo, para cada uno de los tratamientos, en un cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.

Tratamientos	Promedio de azufre en p.p.m.			Suma	Promedio
	Calle	Plato	Palera		
Montería	7,68	10,67	5,86	26,03	8,68
Guayabos	8,17	26,76	9,42	43,10	14,37
Macaraquilla	13,55	52,07	27,8	79,17	26,39
Delicias	10,33	13,5	7,43	34,16	11,39
Agr. Norte	4,99	5,46	5,78	15,44	5,15
Andalucía	5,62	26,57	5,30	37,81	12,60
Reserva	4,68	28,03	5,06	37,39	12,46

Al realizar el análisis de varianza para el azufre en el suelo, no presentó diferencia significativa entre las plantaciones. (Anexo A).

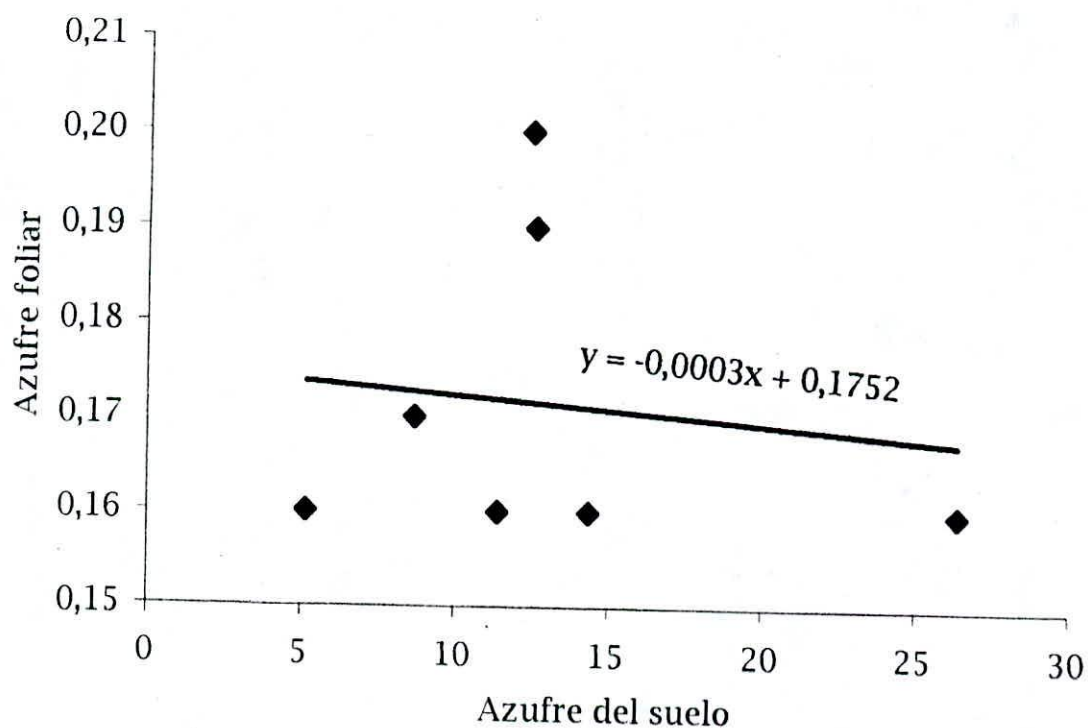
Al efectuarse la correlación del azufre del suelo con el azufre foliar, se obtuvo un coeficiente de correlación negativo  $r = -0,11575837$ , lo que nos dice que no hubo correlación entre estos dos parámetros (ver gráfica 1), es decir, el contenido de azufre que se encuentra en el suelo no se representa en el contenido del tejido foliar.

En las calles, las plantaciones de Montería, Guayabos, Macaraquilla, Delicias y Andalucía, los promedios de azufre son moderados (10-15p.p.m.). En Agrícolas del Norte y Reserva son bajos (5-10ppm). (ver tabla 2).

El análisis de varianza para el azufre del suelo en calles no presentó diferencia significativa entre las plantaciones. (Ver anexo B)

Para la correlación de azufre del suelo en las calles con el pH del plato, calle y palera, se obtuvieron coeficientes de correlación negativos de  $r = -0,3926$ ;  $r = -0,8011$ ; y  $r = -0,6130$  respectivamente; lo que nos dice que hay correlación del azufre del suelo en las calles con el pH en la calle y mínima correlación con el pH en la palera. (Ver gráficas 2, 3).

La correlación del azufre del suelo en las calles con la M.O. en el plato,



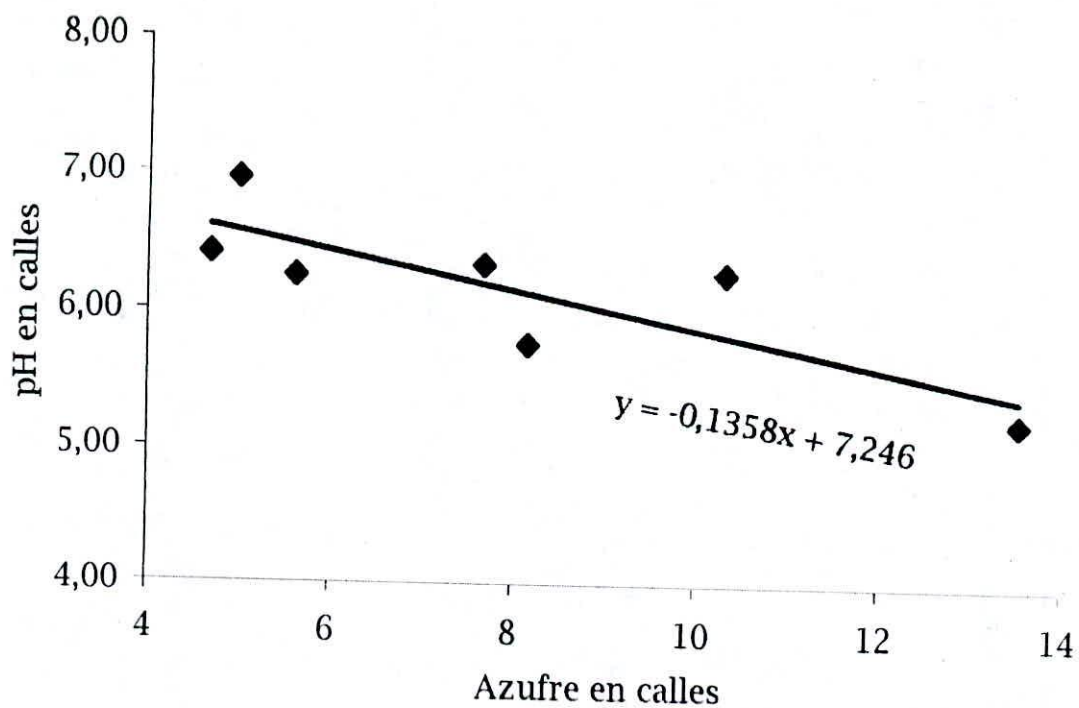
$$r = -0,11575837$$

Grafica 1. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo Vs. contenido de azufre en el tejido foliar, en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tucurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.

Tabla 2. Promedios obtenidos para el contenido de azufre disponible en el suelo en las calles, para cada uno de los tratamientos, en un cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.

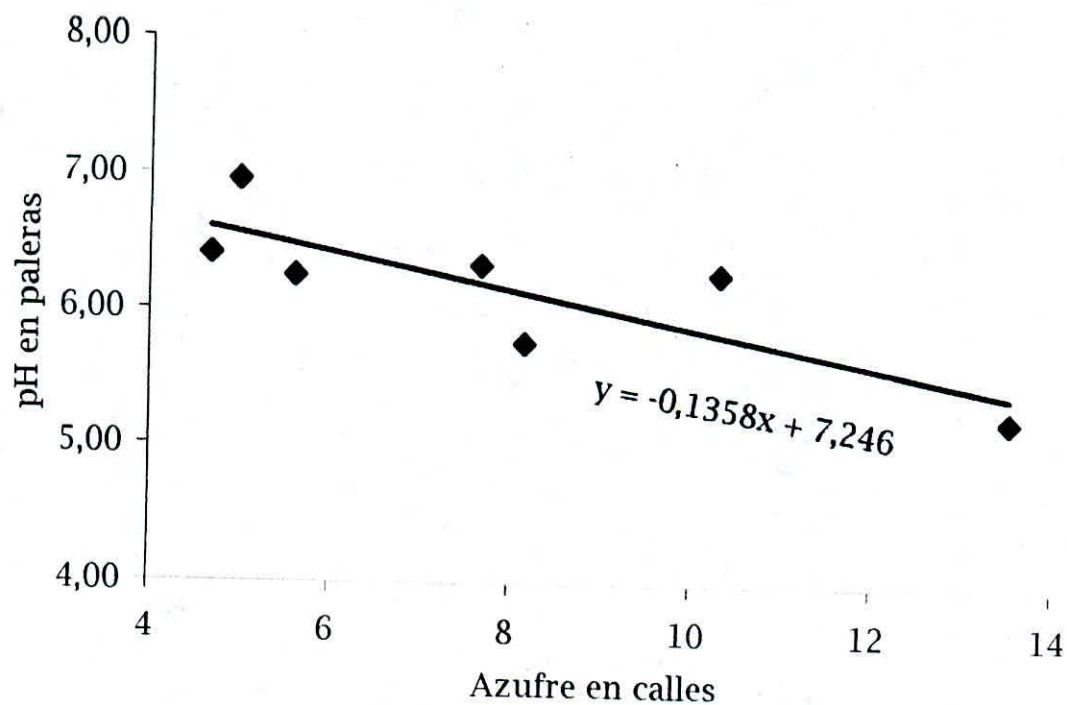
Tratamientos	BLOQUES			Suma	Promedio
	I	II	III		
Montería	13,60	4,60	4,83	23,03	7,68
Guayabos	5,07	12,00	7,43	24,50	8,17
Macaraquilla	17,10	19,90	3,66	40,66	13,55
Delicias	3,89	5,31	21,80	31,00	10,33
Agr. Norte	5,54	4,13	5,31	14,98	4,99
Andalucía	5,07	7,19	4,60	16,86	5,62
Reserva	4,60	4,83	4,60	14,03	4,68





$$r = -0,80262$$

Grafica 2. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en calles Vs. pH en calles, en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.



$$r = -0,80262$$

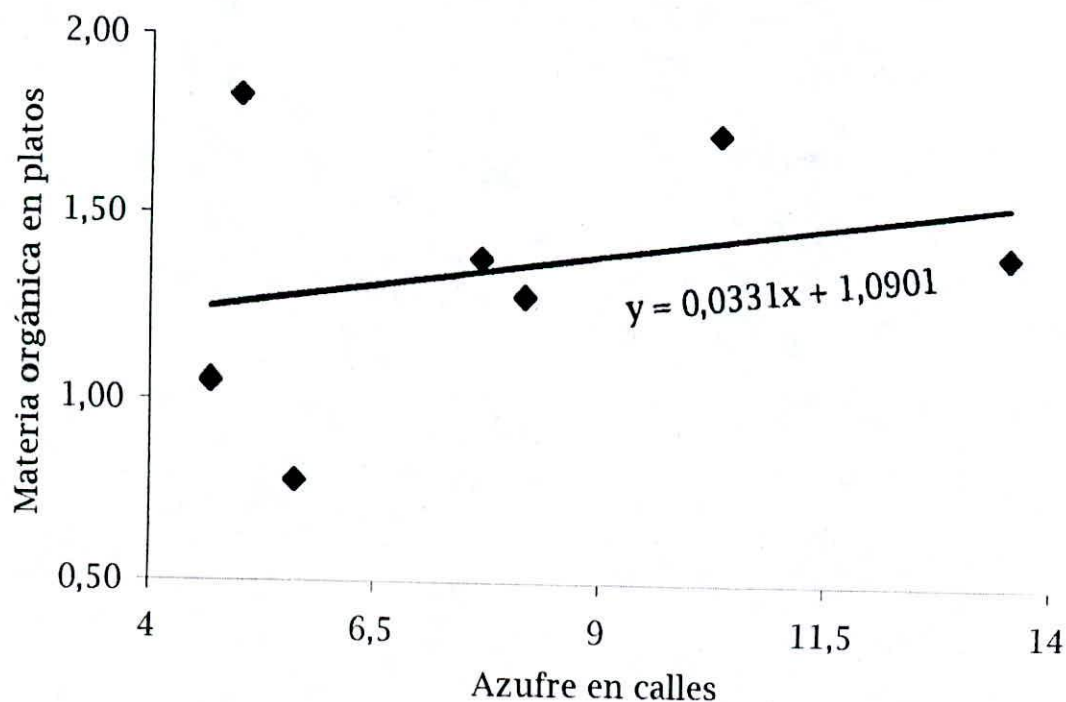
Grafica 3. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en calles Vs. pH en paleras, en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tucurín y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.

calle y palera, determinó un coeficiente de correlación de  $r = 0,2905$ ;  $r = -0,1703$ ; y  $r = 0,0945$  respectivamente; lo que nos indica que no hubo correlación entre estos parámetros. (Ver graficas 4, 5, 6).

En la correlación del azufre del suelo en las calles con el fósforo del plato, calle palera, se encontró un coeficiente de correlación negativos de  $r = -0,6524$ ;  $r = -0,9014$ ; y  $r = -0,8576$  respectivamente, lo que nos dice que hay correlación entre el azufre en las calles y el fósforo en calle y palera y mínima correlación con el fósforo en el plato. (Ver graficas 7, 8, 9).

Al analizar los resultados promedios obtenidos en las muestras de suelo en el sitio del plato, el nivel de azufre, en las plantaciones de Guayabos, Macaraquilla, Andalucía y Reserva son altos ( $>15\text{ppm}$ ), mientras que en Montería, Delicias y Agrícolas del Norte su promedio es moderado ( $10\text{-}15\text{ppm}$ ) en el mismo sitio. (Ver tabla 3).

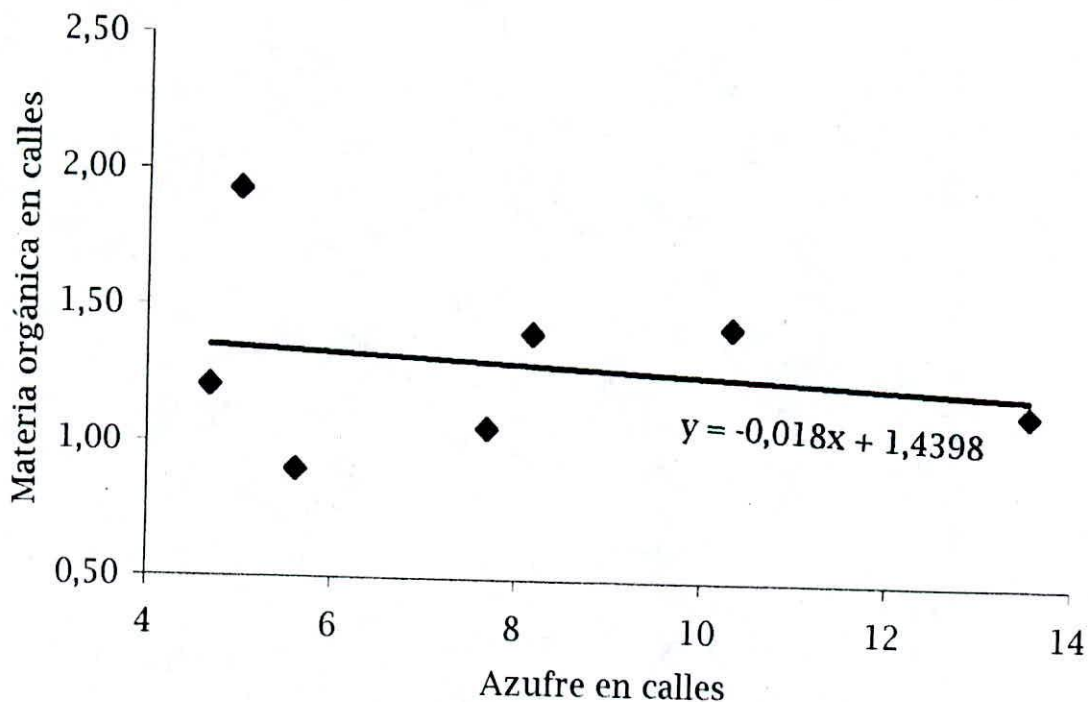
El análisis de varianza para el azufre del suelo en los platos, nos indicó que hubo diferencia significativa (ver anexo C). La prueba de Tukey (anexo D) nos dice que la plantación Macaraquilla tuvo diferencia significativa con respecto a la plantación Agrícolas del Norte. Esto se debe a que en la plantación de Macaraquilla se utilizó de fertilizantes con contenidos de azufre como se mencionó anteriormente, mientras que en Agrícolas del Norte no se realizó fertilización y el factor climático



$$r = 0,291376$$

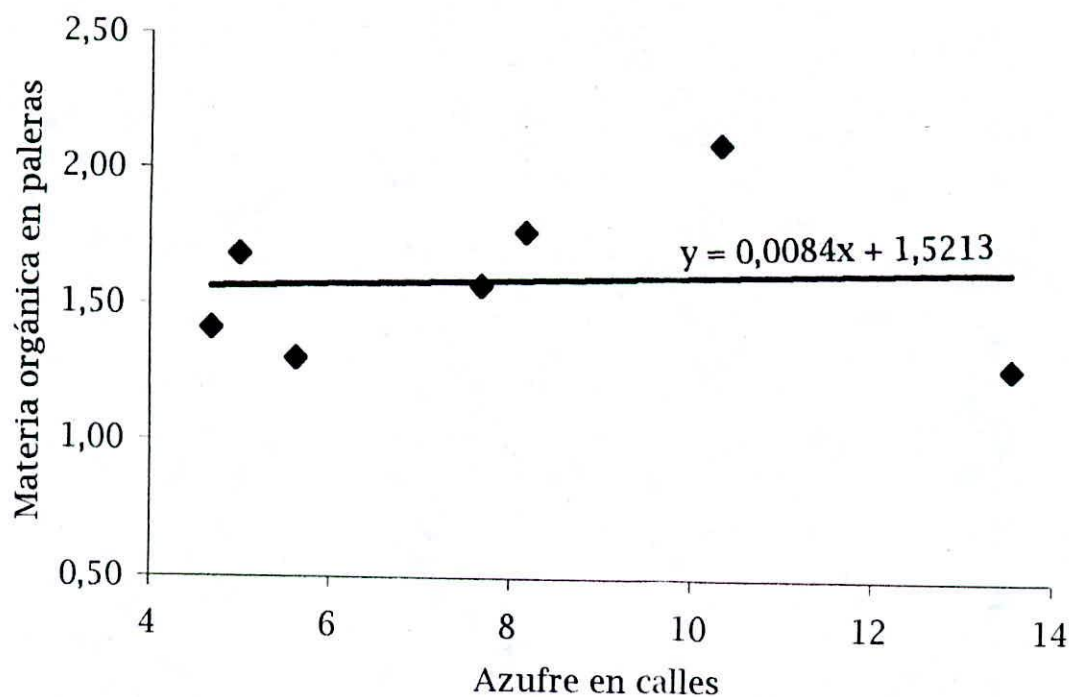
Grafica 4. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en calles Vs. materia orgánica en platos, en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tucurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.





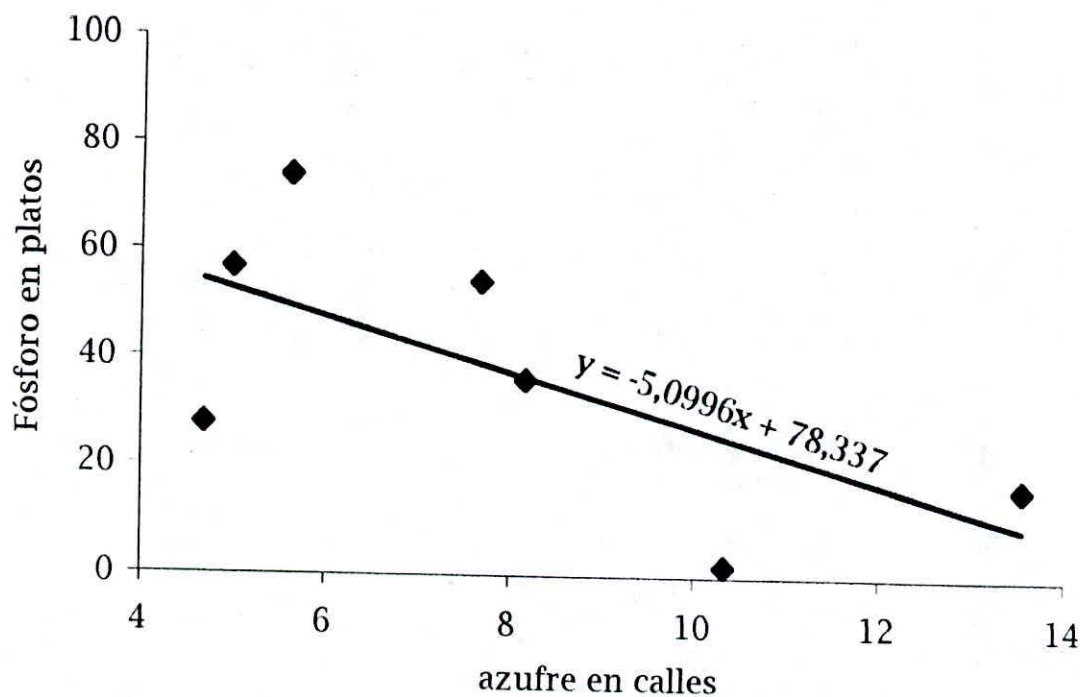
$$r = -0,17146$$

Grafica 5. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en calles Vs. materia orgánica en calles, en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.



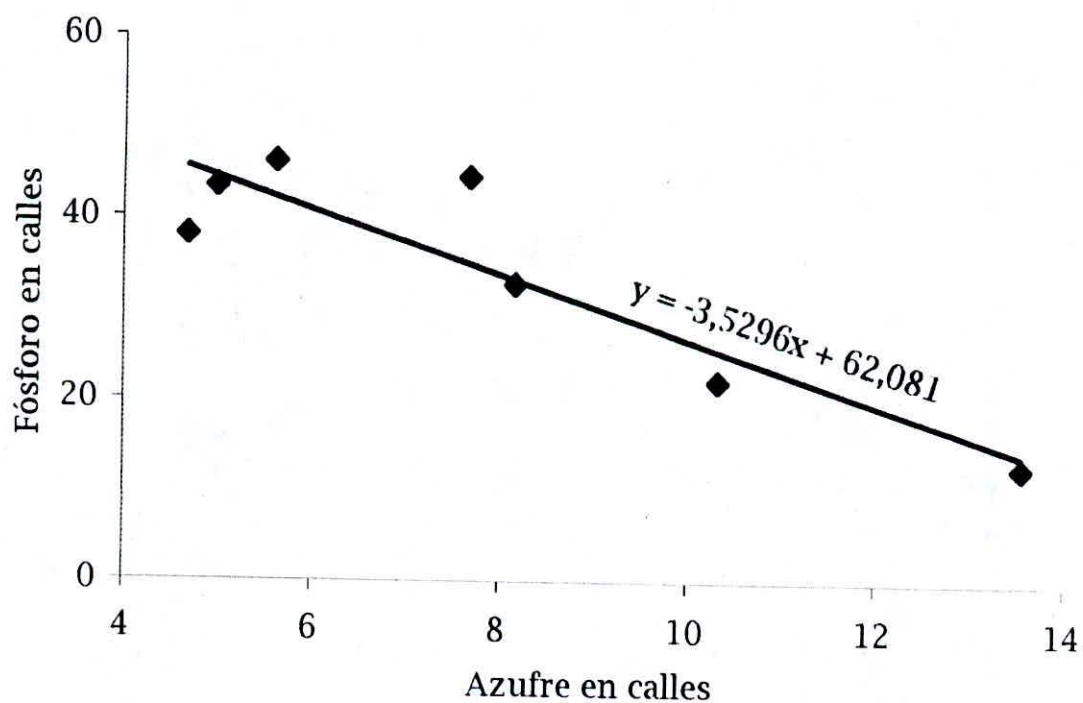
$$r = 0,092$$

Grafica 6. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en calles Vs. materia orgánica en paleras, en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tucurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.



$$r = -0,65253$$

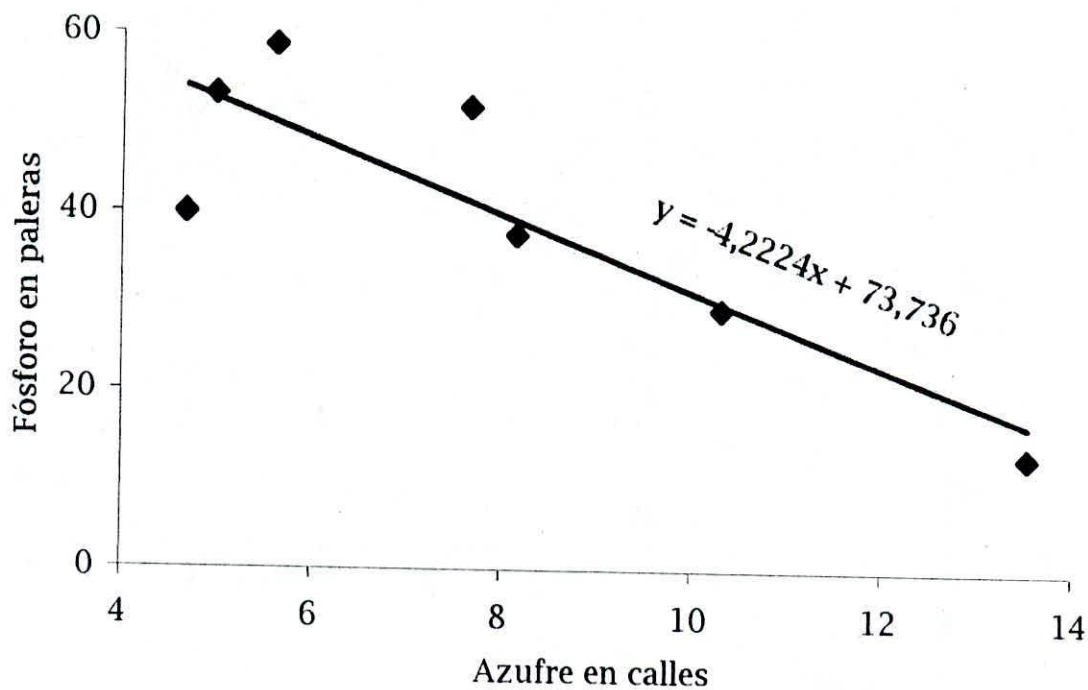
Grafica 7. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en calles Vs. fósforo en platos, en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tucurín y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.



$$r = -0,90138$$

Grafica 8. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en calles Vs. fósforo en calles, en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tucurín y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.





$$r = -0,8576$$

Grafica 9. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en calles Vs. fósforo en paleras, en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tucurín y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.

Tabla 3. Promedios obtenidos para el contenido de azufre disponible en el suelo en los platos, para cada uno de los tratamientos, en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tucurín y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.

Tratamientos	BLOQUES			Suma	Promedio*
	I	II	III		
Montería	10,50	15,50	6,01	32,01	10,67 ab
Guayabos	25,60	9,79	44,90	80,29	26,76 ab
Macaraquilla	75,60	44,20	36,40	156,20	52,07 a
Delicias	17,60	11,90	11,00	40,50	13,50 ab
Agr. Norte	6,25	4,83	5,31	16,39	5,46 b
Andalucía	44,50	10,50	24,70	79,70	26,57 ab
Reserva	12,40	14,30	57,40	84,10	28,03 ab

Las letras al lado de los valores indican la prueba de Tukey.

\* Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes al nivel del 5%.

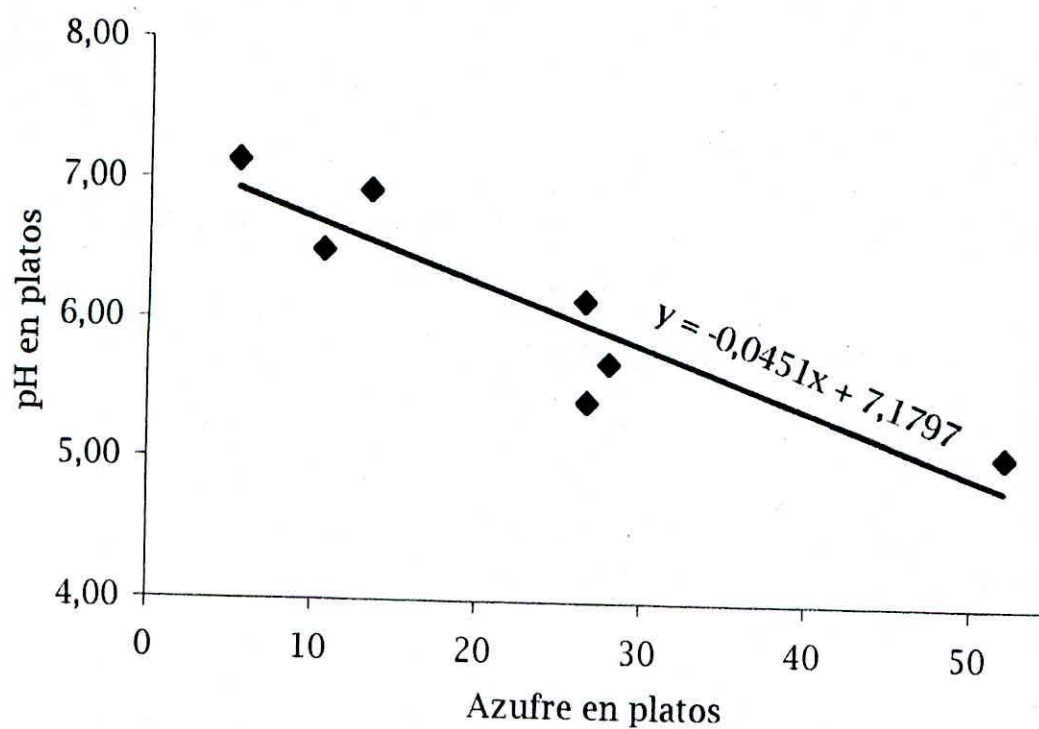
adverso, hizo que el elemento azufre se presentara en un nivel bajo.

Al correlacionar el azufre del suelo en el plato con el pH del plato, calle y palera se obtuvo u coeficiente de correlación  $r = -0,9054$ ;  $r = -0,8768$ ; y  $r = -0,9482$  respectivamente; lo que nos afirma que a menor pH mayor disponibilidad de azufre para estos parámetros. (Ver graficas 10, 11, 12).

La correlación lineal azufre del suelo en el plato con la M.O. en el plato, calle y palera se obtuvieron coeficientes de correlación de  $r = 0,4344$ ;  $r = -0,4902$ ; y  $r = -0,6003$  respectivamente; lo que nos indica que hay una correlación mínima entre el azufre del suelo en el plato y la M.O. en la palera. (Ver grafica 13).

La correlación azufre del suelo en el plato con el fósforo (P) en el plato, calle y palera, se obtuvieron coeficientes de correlación  $r = -0,4856$ ;  $r = -0,6303$  y  $r = -0,6796$  respectivamente; lo que nos indica que hay una correlación mínima entre el azufre del suelo en el plato y el fósforo de la calle y palera. (Ver grafica 14, 15).

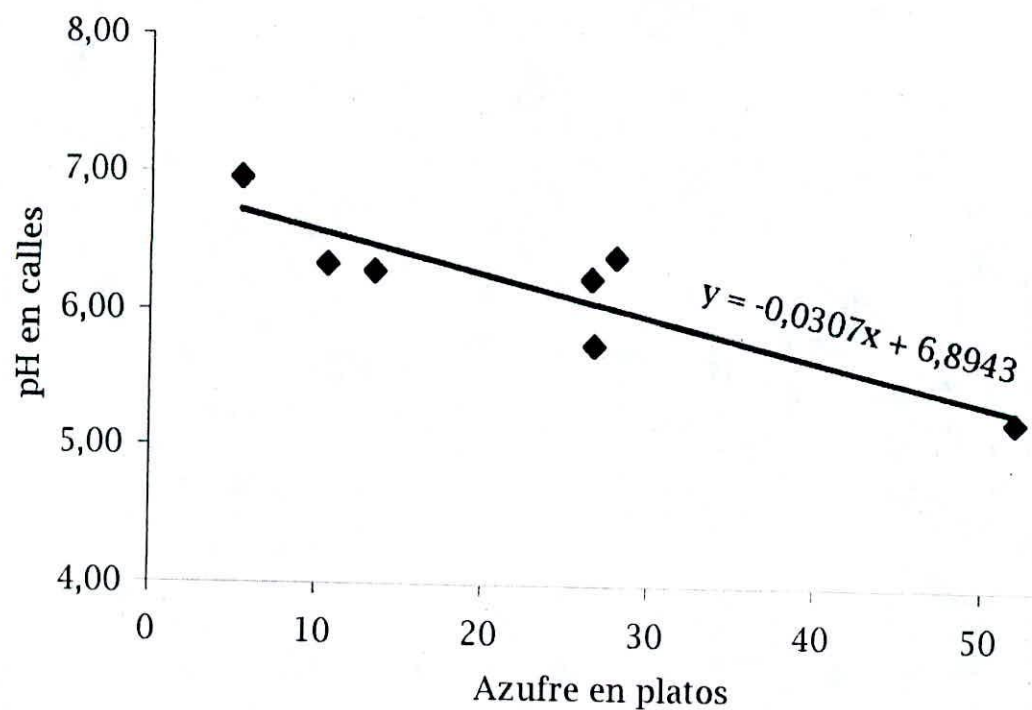
En las paleras, las plantaciones de Montería, Guayabos, Delicias, Andalucía, Agrícolas del Norte y Reserva tienen promedios de azufre moderados; Macaraquilla tiene promedio alto. (Ver tabla 4).



$$r = -0,90581$$

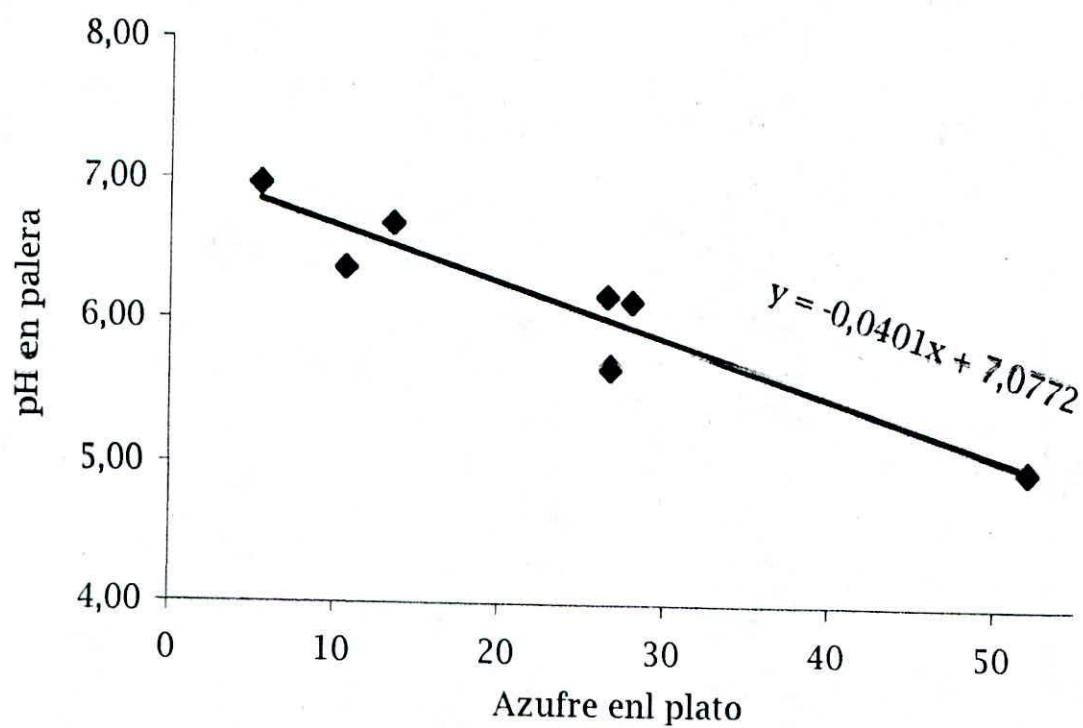
Grafica 10. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en platos Vs. pH en platos, en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.





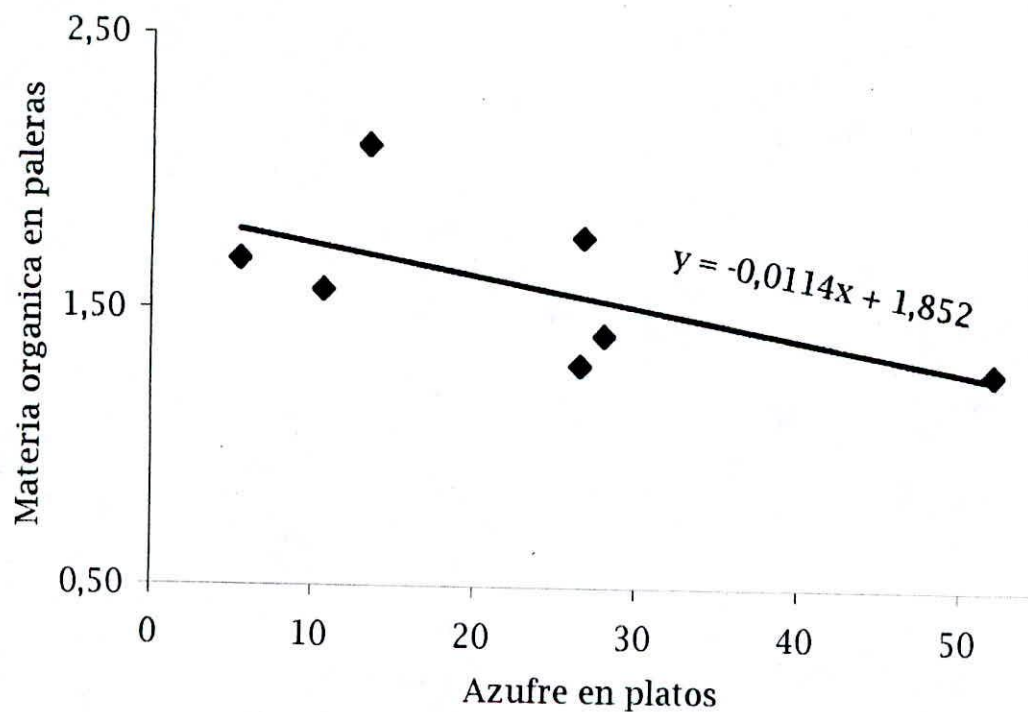
$$r = -0,87726$$

Grafica 11. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en platos Vs. pH en calles, en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.



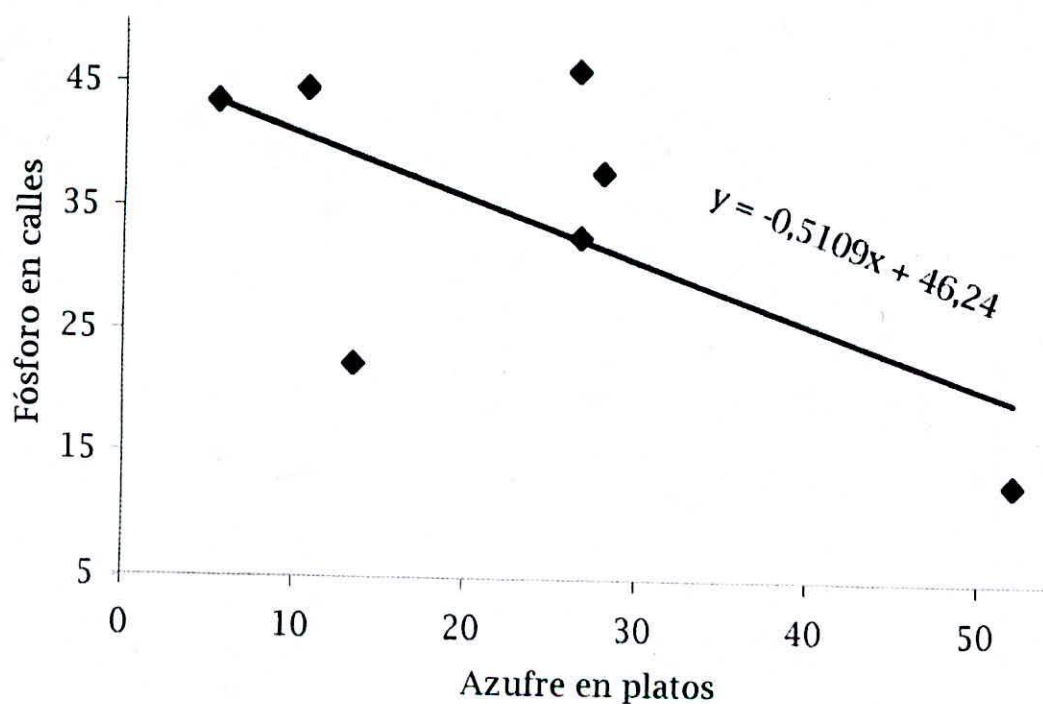
$$r = -0,9482$$

Grafica 12. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en platos Vs. pH en paleras, en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tucurín y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.



$$r = -0,60340$$

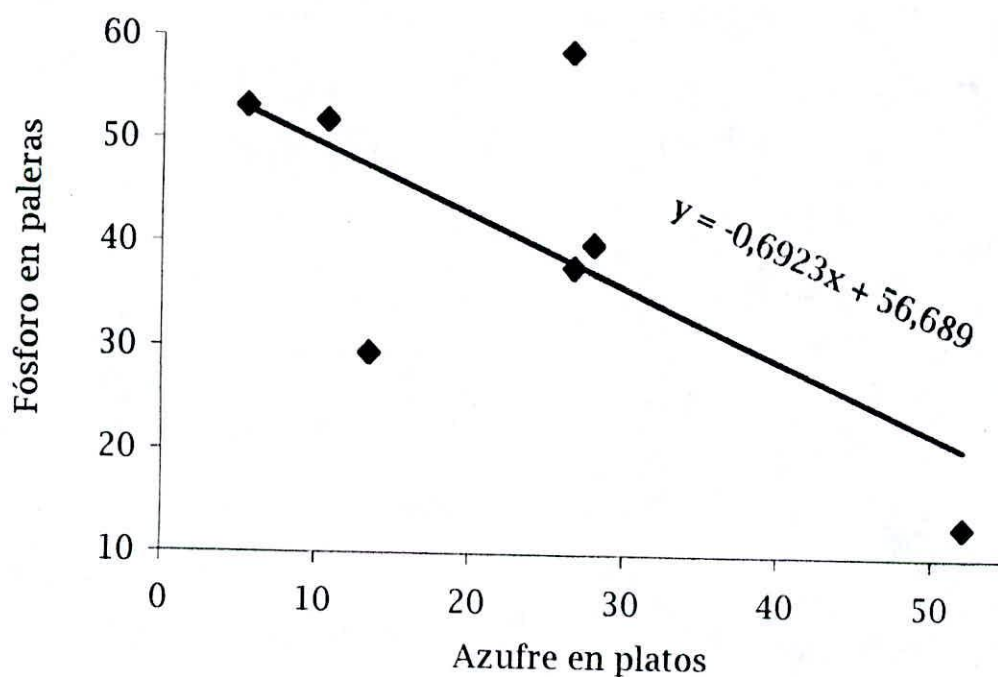
Grafica 13. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en platos Vs. materia orgánica en paleras, en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tucurín y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.



$$r = -0,63039$$

Grafica 14. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en platos Vs. fósforo en calles, en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tucurín y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.





$$r = -0,67955$$

Grafica 15. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en platos Vs. fósforo en paleras, en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tucurín y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.

Tabla 4. Promedios obtenidos para el contenido de azufre disponible en el suelo en las paleras, para cada uno de los tratamientos, en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tucurín y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.

Tratamientos	BLOQUES			Suma	Promedio
	I	II	III		
Montería	7,98	4,69	4,92	17,59	5,86
Guayabos	9,07	11,76	7,43	28,26	9,42
Macaraquilla	32,10	30,40	20,90	83,40	27,80
Delicias	4,89	4,91	12,50	22,30	7,43
Agr. Norte	5,54	4,12	7,67	17,33	5,78
Andalucía	4,07	7,19	4,63	15,89	5,30
Reserva	4,04	4,53	6,60	15,17	5,06

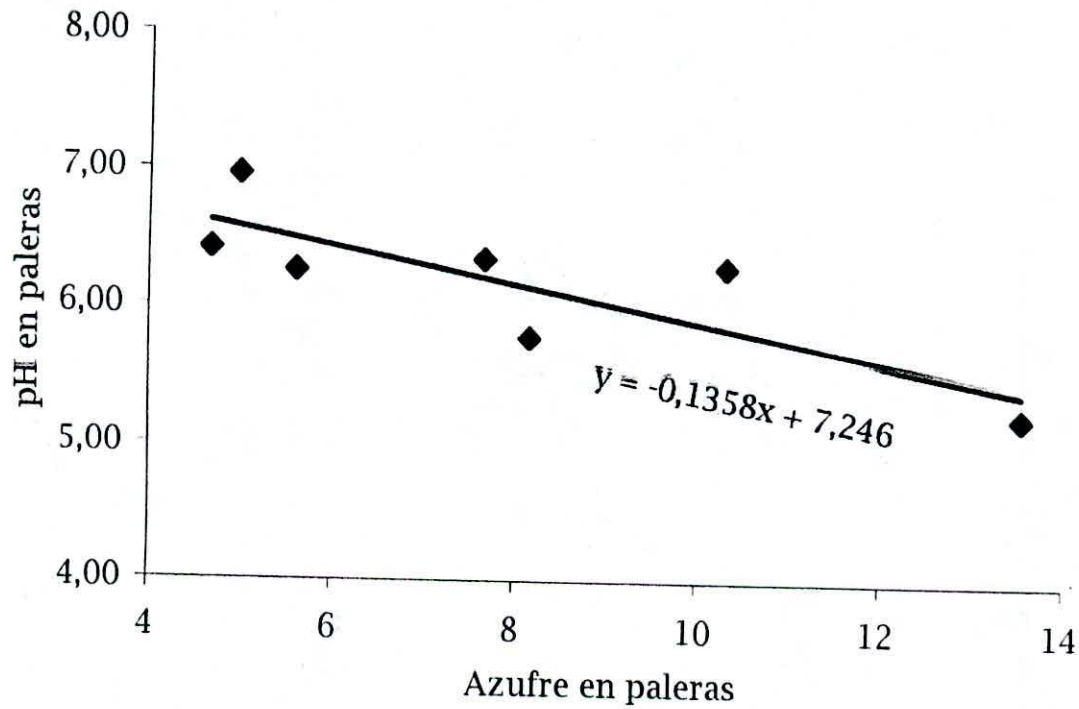
El análisis de varianza para el azufre del suelo en paleras no presentó diferencia significativa entre las plantaciones. (Ver anexo E).

Para la correlación del azufre del suelo en la palera con el pH en plato, calle y palera, determinaron un coeficiente de correlación  $r = -0,3926$ ;  $r = 0,5255$ ; y  $r = -0,6130$  respectivamente; lo que nos dice que existe una correlación mínima del azufre del suelo en la palera con el pH de la palera. (Ver grafica 16).

La correlación del azufre en la palera con la materia orgánica (M.O.) en el plato, calle y palera se obtuvieron coeficientes de correlación de  $r = 0,2905$ ;  $r = -0,1703$ ; y  $r = 0,0945$  respectivamente; lo que indica que no hay correlación entre estos parámetros. (Ver Graficas 17, 18, 19)

En la correlación del azufre en la palera con el fósforo en el plato, calle y palera, se encontraron coeficientes de correlación de  $r = -0,6524$ ;  $r = -0,9014$ ; y  $r = 0,8576$  respectivamente; lo que nos indica que existe correlación entre el azufre en la palera y el fósforo en la calle y palera y una mínima correlación con el fósforo en el plato. (Ver gráficas 20, 21, 22).

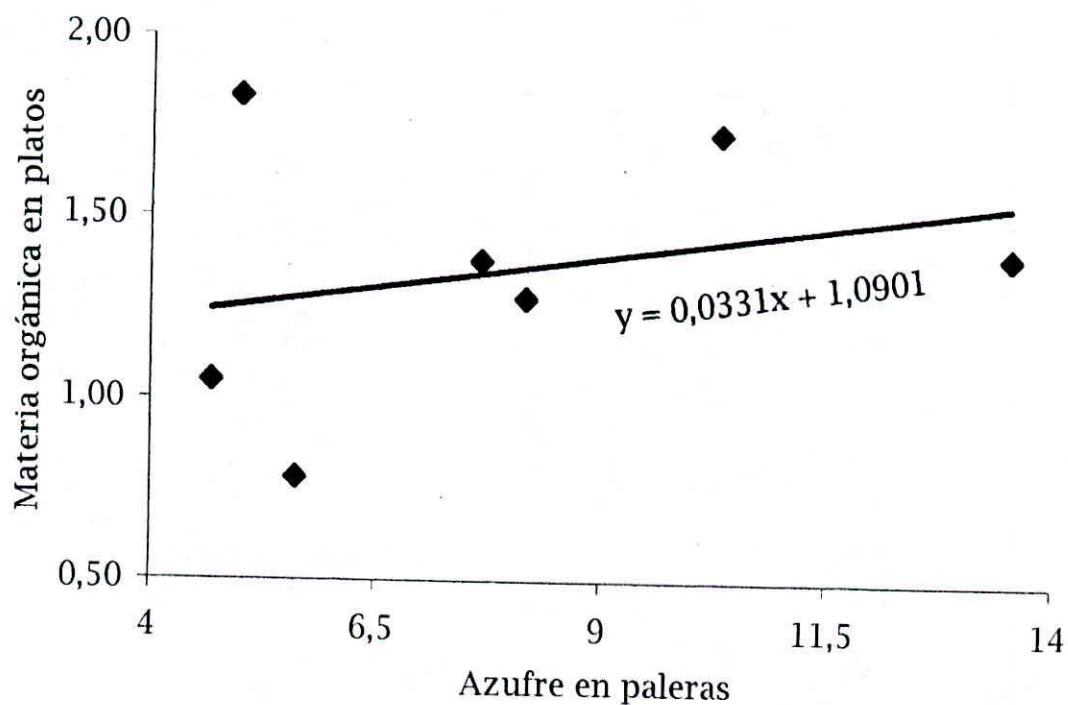
Estos resultados indican que en el sitio de fertilización (plato) se encuentra la mayor concentración de azufre, esto se debe a que se utiliza fertilizantes que contienen este elemento. (Ver tabla 5).



$$r = -0,80262$$

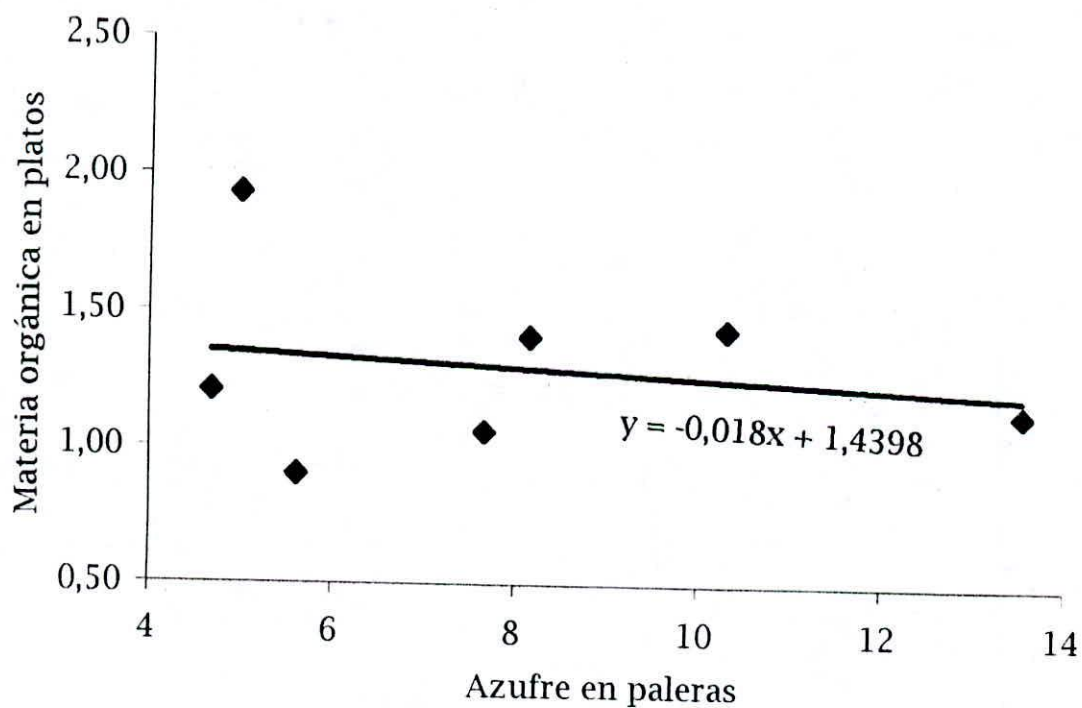
Grafica 16. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en paleras Vs. pH en paleras, en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tucurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.





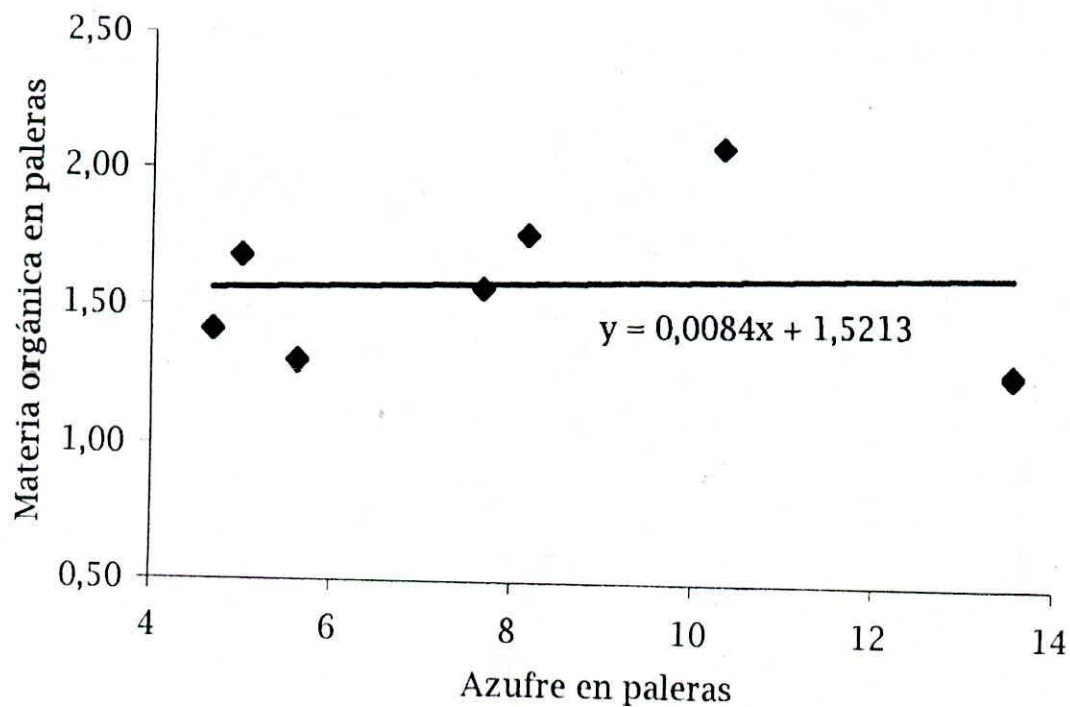
$$r = 0,29137$$

Grafica 17. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en paleras Vs. materia orgánica en platos, en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tucurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.



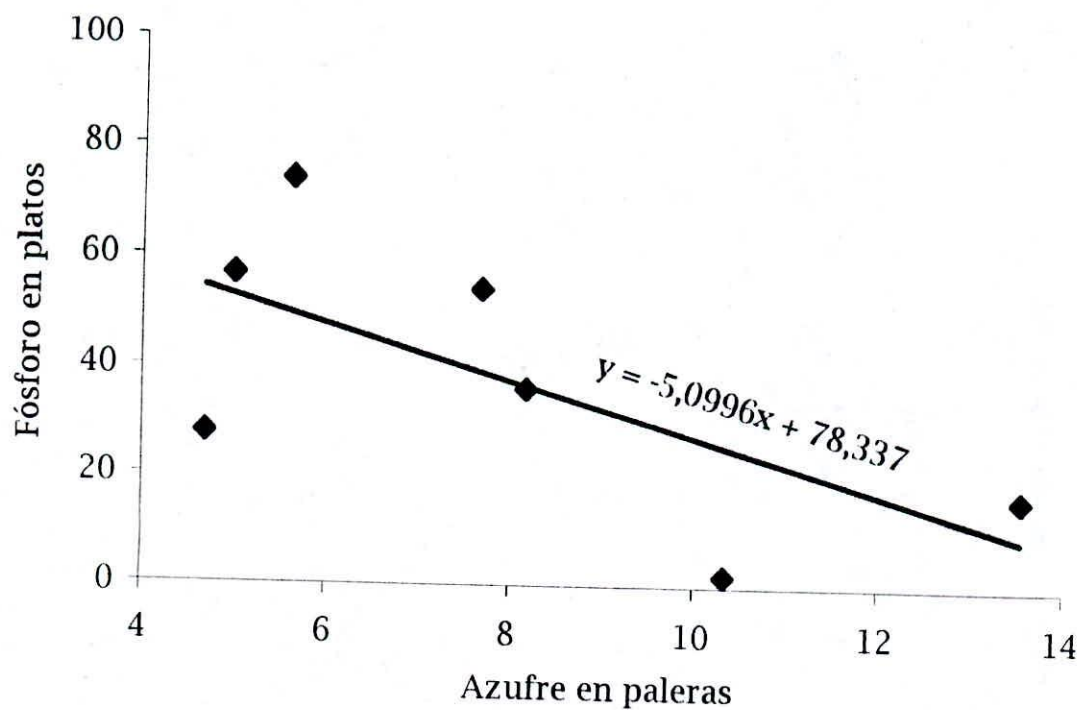
$$r = -0,17146$$

Grafica 18. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en paleras Vs. materia orgánica en platos, en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tucurín y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.



$$r = 0,09219$$

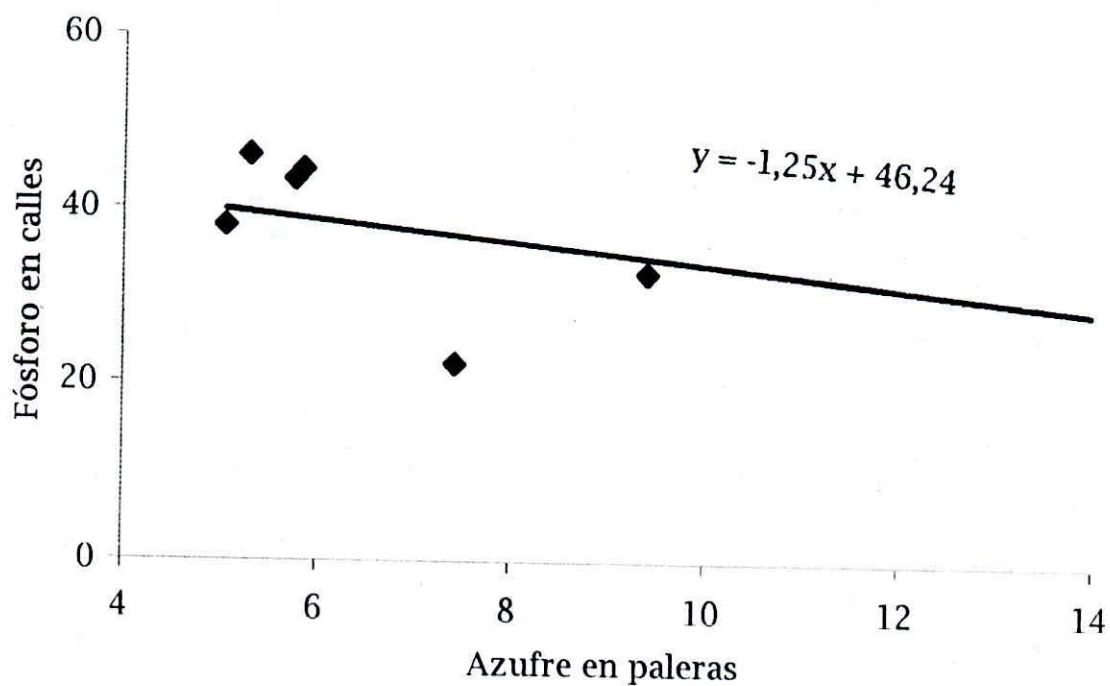
Grafica 19. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en paleras Vs. materia orgánica en palera, en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tucurín y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.



$$r = -0,65253$$

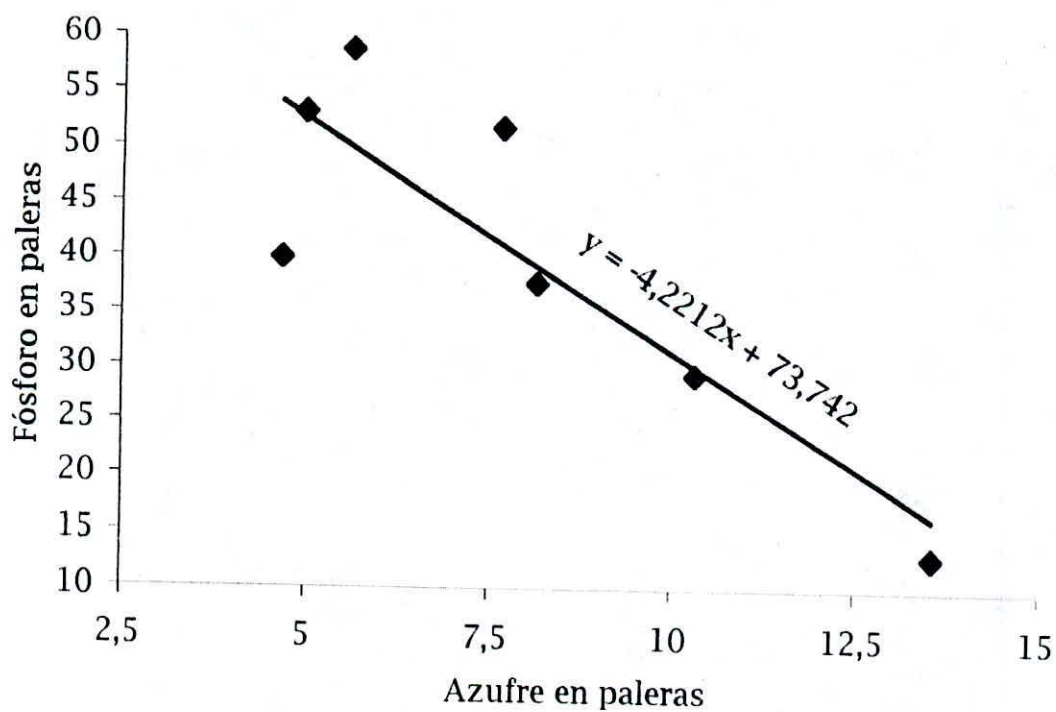
Grafica 20. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en paleras Vs. fósforo en platos, en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tucurín y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.





$$r = -0,81460$$

Grafica 21. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en paleras Vs. fósforo en calles, en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tucurín y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.



$$r = -0,85761$$

Grafica 22. Correlación lineal del contenido de azufre disponible en el suelo en paleras Vs. fósforo en palera, en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tucurín y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.

Tabla 5. Promedios obtenidos para el contenido de azufre disponible en el suelo, para cada uno de los tratamientos, en calle, plato y palera, en un cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.

Tratamientos	Promedio de azufre en p.p.m.		
	Calle	Plato	Palera
Montería	7,68	10,67	5,86
Guayabos	8,17	26,76	9,42
Macaraquilla	13,55	52,07	27,8
Delicias	10,33	13,5	7,43
Agr. Norte	4,99	5,46	5,78
Andalucía	5,62	26,57	5,30
Reserva	4,68	28,03	5,06

Por otra parte en el sitio de la palera el contenido de azufre es de moderado a alto, esto se presenta porque allí hay descomposición de materia orgánica y generalmente un gran porcentaje del azufre total del suelo proviene de ésta, tal como lo establece Monómeros.

En las calles, el contenido de azufre es de moderado a bajo, esto se debe a que allí no existe descomposición de materia orgánica al mismo grado que se presenta en las paleras, ni hay aplicación de fertilizante en ese sitio.

Los promedios de azufre en el tejido foliar son muy bajos en las 7 plantaciones estudiadas (ver tabla 6). Al comparar el azufre del suelo con el azufre foliar se observó una diferencia de este elemento en todas las plantaciones, es decir, el contenido de azufre del suelo de las plantaciones, no coinciden con el azufre del tejido foliar, lo que puede indicar que el azufre que se encuentra en el suelo no es absorbido por la planta debido a que el desequilibrio del resto de los nutrientes y la relación entre los mismos ejercen el fenómeno de antagonismo con el azufre lo que impide su absorción por parte de la palma.

Las tablas 7 y 8 muestran los promedios de Ca, K, Mg en plato, calle y palera y la relación entre ellos lo que nos confirma lo anteriormente dicho.

Tabla 6. Promedios obtenidos para el contenido de azufre en el tejido foliar, para cada uno de los tratamientos, en un cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tucurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.

Tratamientos	BLOQUES			Suma	Promedio*
	I	II	III		
Montería	0,18	0,17	0,17	0,52	0,17 bc
Guayabos	0,17	0,16	0,16	0,49	0,16 c
Macaraquilla	0,16	0,16	0,15	0,47	0,16 bc
Delicias	0,16	0,17	0,16	0,49	0,16 ab
Agr. Norte	0,16	0,16	0,16	0,48	0,16 bc
Andalucía	0,17	0,18	0,21	0,56	0,19 a
Reserva	0,19	0,20	0,22	0,61	0,20 bc

Las letras al lado de los valores indican la prueba de Tukey.

\* Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes al nivel del 5%.



Tabla 7. Promedios obtenidos para el contenido de calcio, magnesio y potasio disponible en el suelo en las calles, platos y paleras, para cada uno de los tratamientos, en un cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tucurín y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.

Tratamientos	meq de Ca /100g de suelo			meq de Mg /100g de suelo			meq de K /100g de suelo		
	Calle	Plato	Palera	Calle	Plato	Palera	Calle	Plato	Palera
Montería	7,71	7,86	7,72	1,64	1,82	1,82	0,13	0,16	0,15
Guayabos	8,51	6,74	8,21	2,60	2,22	2,46	0,17	0,26	0,21
Macaraquilla	6,31	5,77	5,97	1,30	1,41	1,18	0,12	0,24	0,15
Delicias	8,83	9,19	9,45	2,63	3,06	2,88	0,13	0,22	0,18
Agr. Norte	10,13	10,12	10,73	1,93	1,99	2,08	0,15	0,13	0,17
Andalucía	5,22	4,55	5,88	1,21	1,37	1,50	0,12	0,22	0,18
Reserva	5,50	4,57	6,67	1,51	1,46	1,84	0,16	0,30	0,23

Tabla 8. Relación para el contenido de calcio, magnesio y potasio disponible en el suelo en las calles, platos y paleras, para cada uno de los tratamientos, en un cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tucurín y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.

Tratamientos	Ca/Mg			Ca/K			Mg/K			(Ca + Mg)/K		
	Calle	Plato	Palera	Calle	Plato	Palera	Calle	Plato	Palera	Calle	Plato	Palera
Montería	4,70	4,31	4,24	59,30	49,12	51,46	12,60	11,37	12,13	71,92	60,50	63,60
Guayabos	3,27	3,03	3,33	50,05	25,90	39,09	15,29	8,53	11,71	65,35	54,40	50,80
Macaraquilla	4,85	4,09	5,05	52,58	24,04	39,80	10,83	5,87	7,86	63,41	29,90	47,60
Delicias	3,35	3,00	3,28	67,92	41,77	52,50	20,23	13,90	16,00	88,15	55,68	68,50
Agr. Norte	5,24	5,08	5,15	67,53	77,84	63,11	12,80	15,30	12,23	80,40	93,15	75,35
Andalucía	4,31	3,32	3,92	43,50	20,66	32,60	10,08	6,22	8,33	53,58	26,90	41,00
Reserva	3,64	3,13	3,62	34,37	15,23	29,00	9,43	4,86	8,00	43,81	20,10	37,00

La reacción del suelo o pH es una limitante para la absorción del azufre por las plantas. Las plantaciones en estudio, presentan un pH ligeramente ácido ( $C = 6,17$ ;  $PL = 6,12$ ;  $PA = 6,14$ ) (ver tabla 9). El cual nos indica que no hay problema de pH para el cultivo de la palma de acuerdo a las condiciones agronómicas para la explotación de este cultivo. (CENIPALMA).

El análisis de varianza para el azufre foliar arrojó resultados altamente significativos, (anexo F). La prueba de Tukey determinó que hubo diferencia altamente significativa de la plantación Andalucía con respecto a las plantaciones de Guayabos, reserva, Macaraquilla, Montería y significativo con respecto a la plantación Agrícolas del Norte. También se observó diferencia significativa de la plantación Delicias con respecto a la plantación Guayabos. (Ver Anexo G).

Otros resultados obtenidos del análisis de suelo, son los promedios de materia orgánica y fósforo para plato, calle y palera. Los niveles de materia orgánica para las siete plantaciones fueron bajos en los tres sitios de muestreo (ver tabla 10 y 11), comparado con los niveles críticos que maneja el I.C.A. para los suelos colombianos de clima cálido, los cuales están:

Bajo	→	< 2%
Medio	→	2-3%
Alto	→	>3%

Tabla 9. pH del suelo en las calles, platos y paleras, para cada uno de los tratamientos, en un cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.

Tratamientos	pH del suelo		
	Calle	Plato	Palera
Montería	6,33	6,49	6,37
Guayabos	5,76	5,42	5,68
Macaraquilla	5,23	5,07	4,98
Delicias	6,29	6,93	6,69
Agr. Norte	6,96	7,12	6,97
Andalucía	6,25	6,15	6,18
Reserva	6,41	5,69	6,14
Promedio	6,17	6,12	6,14

Tabla 10. Contenido de materia orgánica del suelo en las calles, platos y paleras, para cada uno de los tratamientos, en un cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.

Tratamientos	Promedios para materia orgánica		
	Calle	Plato	Palera
Montería	1,05	1,37	1,57
Guayabos	1,41	1,27	1,77
Macaraquilla	1,14	1,40	1,28
Delicias	1,44	1,73	2,10
Agr. Norte	1,93	1,83	1,68
Andalucía	0,90	0,78	1,29
Reserva	1,21	1,05	1,41



Tabla 11. Contenido de fósforo del suelo en las calles, platos y paleras, para cada uno de los tratamientos, en un cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tucurín y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.

Tratamientos	Promedios para fósforo		
	Calle	Plato	Palera
Montería	44,50	54,36	51,80
Guayabos	32,80	36,10	37,70
Macaraquilla	12,93	16,60	13,06
Delicias	22,26	23,10	29,46
Agr. Norte	43,50	56,83	53,13
Andalucía	46,23	74,13	58,73
Reserva	38,06	26,1	39,96

## 5. CONCLUSIONES

- ♦ La cantidad de azufre presente en el suelo varía de un sitio a otro, presentándose una mayor concentración en el plato, seguido de la palera y por último la calle.
- ♦ El nivel de azufre en el suelo en las plantaciones estudiadas, está en un promedio de 13,55ppm el cual es considerado como bajo.
- ♦ El nivel de azufre en el tejido foliar en todas las plantaciones fueron menores que los valores reportados como críticos por varios investigadores.
- ♦ No se encuentra relación alguna con los niveles de azufre que hay en el suelo con el azufre en el tejido foliar, ni con la materia orgánica de la cual se origina el azufre.
- ♦ Las fincas que presentaron los valores más bajos en el pH mostraron una mayor cantidad de azufre en los suelos mientras que para las fincas en las que se observaron los pH más altos ocurrió lo contrario.

- ♦ En los suelos de todas las plantaciones se observó una relación inversa entre la cantidad de fósforo y la cantidad de azufre.
- ♦ En la mayoría de las plantaciones se utilizan fertilizantes con contenido de azufre, pero el grado de este elemento no alcanza para suplir las necesidades de la palma lo que se ve reflejado en el análisis del tejido foliar.
- ♦ Se considera necesario implementar un programa de fertilización para el nutriente azufre en todas las plantaciones de palma de aceite.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ALEXANDER, M. introduction to soil microbiology. New York : Wiley, 1961. 472p.
2. BAXTER, A. What about sulfur. En : Crops and soils. Vol. 5, No. 3 (1952). p. 7-9.
3. BEAR, F. E. Química del suelo. Madrid : Interciencias, 1963. 435p.
4. BIRCH, H. F. The effect of soil drying on humus descomposition and nitrogen availability. En : Plant and soil. Vol. 10 (1968). p. 9-13.
5. BLAIR, J. Azufre : su importancia como nutriente en la agricultura tropical. En: Surphur in depropies internacional. s.l. : Fertilizer development center, MONOMEROS Colombo-Venezolanos, 1986. 43p.
6. CANCHANO NIEBLES, Eliecer. Estudio de los aspectos fundamentales en la química de suelos. Santa Marta : s.n., 1997. 291p.
7. CASTRO, P. y RIASCOS, J. Comparación de tres fuentes y cinco niveles de azufre en el cultivo de papaya (*Carica papaya* L.), var. Sun -risa. Santa Marta. 1994, 96p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad del Magdalena. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Programa de Ingeniería Agronómica.
8. ENSMINGER, L. E. Some factors affecting absorption of sulfate by Alabama. En : Soil, Vol. 18 Alabama : SSS, 1954. 259-264p.
9. FASSBENDER, H. W. Química de suelos. Turrialba, Costa Rica : Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, 1969. 266p.
10. FERNÁNDEZ VALIELA, Manuel. Introducción a la Fitopatología. 2ed. Buenos Aires : Gadola, 1952. 789p.
11. GALIANO SEDANO, Francisco. Análisis de plantas : metodología. P. 287-304. en : Silva Mojica, Francisco. Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y agua para riego. Bogotá : Talleres gráficos Montoya - Araujo. 1991. 323p. ISBN. 958-95299-1-7.



12. GONZALEZ LUNA, Gloria Inés. Azufre disponibilidad en suelos de la Costa Atlántica. P. 44-50. En : Suelos ecuatoriales. Bogotá D.C. : Revista de la Sociedad Colombiana de Ciencias del Suelo. vol. 18, No. 1 (junio, 1985). 228p.
13. GUERRERO R., Ricardo. Bases para la fertilización de cultivos. P. 37-43. En : Guerrero Riascos. Fertilización de cultivos de clima cálido. Santafé de Bogotá : MONÓMEROS Colombo-Venezolanos, 1993. 312p.
14. ----- y BURBANO, O. H. Niveles críticos de disponibilidad para las plantas en suelos de los Llanos Orientales y la sabana de Bogotá. En : Monómeros COLOMBO-VENEZOLANOS. Azufre : su importancia como nutriente en la agricultura tropical. S.l. : s.n., 1986. 43p.
15. HAGMSTROM, G. R. Propertie and uses of surphur contarning fertilizers materials. En : MONÓMEROS COLOMBO-VENEZOLANOS. Azufre : su importancia como nutriente en la agricultura tropical. S.l. : S.n. 1986. 43p.
16. HARWARD, M .E. y REISANAVER, H. M. Reactions and moviment of inorganic soil sulphur. Sulphur soil sciense. 101 : 326, 1966.
17. ICA. Análisis de suelos, plantas y agua para riego. Manual de Asistencia Técnica, No. 49, 1989. 243p.
18. LORA SILVA, Rodrigo. Química del azufre con énfasis en suelos colombianos. p. 25-32. En : Seminario Nacional de Azufre en la Agricultura. Palmira : CIAT, 1988. 82p.
19. MONÓMEROS COLOMBO-VENEZOLANOS. Fertilización en cultivos de clima cálido. Santafé de Bogotá, 1993. p. 41-49.
20. ----- El azufre: su importancia como nutriente en la agricultura tropical. Colección punto verde. No. 5. S.l. s.n., 1986. 43p.
21. OWEN, B. E. J. Palma africana : En : Fertilización de cultivos de clima cálido. Santafé de Bogotá : MONÓMEROS COLOMBO-VENEZOLANOS, 1993. 312p.
22. PEDRAZA, L. A. y LORA, R. Disponibilidad del azufre para las plantas en dos suelos de los Llanos Orientales de Colombia. Citado por: Guerrero, Ricardo. Disponibilidad de azufre en suelos agrícolas de Colombia. En : suelos ecuatoriales. Vol. 18, No. 1 (1988) 18-21p.
23. PELCZAR, M. J. y REID, R. D. Microbiología. 2ed. Madrid : Ediciones Castillas, S.A. 1966. 664p.



24. THOMPSON, L. M. El suelo y su fertilidad. Traducción de Ricardo Clará Barcelona, 1965. 407p.
25. TORRES, J. y RAMIRES, A. Comparación de tres fuentes y cinco niveles de azufre en dos variedades de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) Santa Marta. 1994. 102p. Tesis (Ingeniero Agrónomo). Universidad del Magdalena. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Programa de Ingeniería Agronómica.
26. VALENCIA, A. G. Respuesta al calcio, magnesio y azufre, en cultivos de clima medio. Suelos ecuatoriales, 1979. p. 186-195.
27. WITEHEAD, D. C. Soil and plant nutrition aspects of the sulphur cycle; 1964. soil and fertilizers. 27 : p. 1-8.
28. ZAPATA, A. y MUNEVAR, F. Efecto del azufre en la mineralización del carbono y nitrógeno de un andisol de Cundinamarca. 1985. En : IX Congreso Latinoamericano y III Congreso Colombiana de Ciencias del Suelo. Resumen. Cali (agosto 26-30).
29. ZEHLER, E; KREIPE, H. y GETHING. Potassium sulphate and potassium chloride. Citado por: Malavorta, E. Balance del azufre en la agricultura americana; En : suelos ecuatoriales. Vol. 20, No. 1 (1990); p. 59-68.

## ANEXOS

Anexo A. Análisis de varianza de los promedios obtenidos para el contenido de azufre disponible en el suelo, para cada uno de los tratamientos, en un cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tucurín y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F5%	F1%
Tratamientos	6	1251,8584	208,6430	1,7537	2,85	4,46
Error	14	1665,6645	118,9760			
Total	20	2917,5229				

Anexo B. Análisis de varianza de los promedios obtenidos para el contenido de azufre disponible en el suelo en las calles, para cada uno de los tratamientos, en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F5%	F1%
Tratamientos	6	186,08	31,0140	1,01	2,85	4,46
Error	14	431,44	30,8172			
Total	20	617,53				

Anexo C. Análisis de varianza de los promedios obtenidos para el contenido de azufre disponible en el suelo en los platos, para cada uno de los tratamientos, en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F5%	F1%
Tratamientos	6	4338,88	723,1470	2,95	2,85	4,46
Error	14	3429,90	244,9930			
Total	20	7768,79				



Anexo D. Prueba de Tukey de los promedios obtenidos para el contenido de azufre en el suelo en los platos, para cada uno de los tratamientos, en un cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tucurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.

Tratamientos		Macaraquilla	Reserva	Guayabos	Andalucía	Delicias	Montería	Agr. Norte
		52,07	28,03	26,76	26,57	13,50	10,67	5,46
Agr. Norte	5,46	<del>44,610</del>	22,570	21,300	21,110	8,040	5,220	0
Montería	10,67	41,400	17,360	16,090	15,900	2,830	0	
Delicias	13,50	38,570	14,530	13,260	13,070	0		
Andalucía	26,57	25,500	1,460	0,1900	0			
Guayabos	26,76	25,310	1,270	0				
Reserva	28,03	24,040	0					
Macaraquilla	52,07	0						

$W_5\% = 41,93$

$W_1\% = 53,14$

Altamente significativo  
Significativo

Anexo E. Análisis de varianza de los promedios obtenidos para el contenido de azufre disponible en el suelo en las paleras, para cada uno de los tratamientos, en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F5%	F1%
Tratamientos	6	186,0842	31,0140	1,006400	2,85	4,46
Error	14	431,4412	30,8172			
Total	20	617,5254				

Anexo F. Análisis de varianza de los promedios obtenidos para el contenido de azufre en el tejido foliar, para cada uno de los tratamientos, en un cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tukurinca y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F5%	F1%
Tratamientos	6	0,0052	0,0009	7,5556**	2,85	4,46
Error	14	0,0016	0,0001			
Total	20	0,0068				



Anexo G. Prueba de Tukey de los promedios obtenidos para el contenido de azufre en el tejido foliar, para cada uno de los tratamientos, en un cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en las regiones de Tucurín y Sevilla, Zona Bananera del Magdalena.

Tratamientos		Andalucía	Delicias	Agr. Norte	Montería	Macaraquilla	Reserva	Guayabos
		0,203	0,187	0,173	0,163	0,163	0,160	0,157
Guayabos	0,157	<u>0,046</u>	<u>0,030</u>	0,016	0,006	0,006	0,003	0
Reserva	0,160	<u>0,043</u>	0,027	0,013	0,003	0,003	0	
Macaraquilla	0,163	<u>0,040</u>	0,024	0,010	0,000	0		
Montería	0,163	<u>0,040</u>	0,024	0,010	0			
Agr. Norte	0,173	<u>0,030</u>	0,014	0				
Delicias	0,187	0,016	0					
Andalucía	0,203	0						

$W_{5\%} = 0,029$

$W_{1\%} = 0,036$

Altamente significativo

Significativo